



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες με τη χρήση Προηγμένων
Τεχνολογικών Εφαρμογών**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΛΠΙΔΑ Γ. ΓΙΑΛΟΥΡΗ

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες με τη χρήση Προηγμένων
Τεχνολογικών Εφαρμογών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ελπίδα Γιαλούρη

Συμβουλευτική Επιτροπή: Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου

Ηρακλής Αβραμόπουλος

Δήμητρα- Θεοδώρα Κακλαμάνη

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή τη 21^η Ιουλίου 2011.

Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής ΕΜΠ

Η. Αβραμόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Δ. Κακλαμάνη
Καθηγήτρια ΕΜΠ

Ε. Καγιαφας
Καθηγητής ΕΜΠ

Γ. Ματσόπουλος
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Ι. Τιγκελής
Αν. Καθηγητής ΕΚΠΑ

Ι. Γαροφαλλάκης
Καθηγητής Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....

ΕΛΠΙΔΑ Γ. ΓΙΑΛΟΥΡΗ
Διδάκτωρ Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου

Copyright © Ελπίδα Γ. Γιαλούρη, 2011.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στην συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται στην εργασία αυτή εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου.



**Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική
Χρήση - Παρόμοια Διανομή
CC BY-NC-SA**

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση μίας διδακτορικής διατριβής απαιτεί πολλές φορές την υποστήριξη και τη συμβολή πολλών ανθρώπων. Στην περίπτωση της δικής μου ερευνητικής προσπάθειας θεωρώ πως έλαβα απλόχερα εξαιρετική βοήθεια και υποστήριξη από πολλούς συνεργάτες Έλληνες και ξένους με τους οποίους εργαστήκαμε μαζί τα τελευταία 5 χρόνια. Η ολοκλήρωση της διατριβής μου δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη δική τους εργασία και προσπάθεια. Επίσης δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη βοήθεια πολλών συναδέλφων που δέχτηκαν να εφαρμόσουν στις τάξεις τους τις προηγμένες τεχνολογικές εφαρμογές που παρουσιάζονται, ακολουθώντας πιστά και μεθοδικά τα εκπαιδευτικά σενάρια που σχεδιάστηκαν.

Ο κατάλογος των ανθρώπων που θα ήθελα να ευχαριστήσω είναι λοιπόν εξαιρετικά μεγάλος και δεν κρίνεται ίσως σκόπιμο να αναφερθώ σε όλους ξεχωριστά στο πλαίσιο αυτού του εισαγωγικού σημειώματος. Υπάρχουν όμως κάποιοι συνεργάτες στους οποίους πρέπει να αναφερθώ ειδικά, καθώς θεωρώ πως συμβολή τους στην εργασία αλλά και πολύ περισσότερο στη διαμόρφωση του τρόπου σκέψης και της προσωπικότητάς μου, ήταν καταλυτική.

Πρώτος και κύριος, ακούραστος οδηγός και υποστηρικτής της προσπάθειας μου ήταν ο «δάσκαλός» μου καθηγητής Νικόλαος Ουζούνoglou. Για εμάς τους εκπαιδευτικούς ο όρος «δάσκαλος» αποτελεί έναν τίτλο τιμής που χαρακτηρίζει τον άνθρωπο που η συμβολή του ξεφεύγει από τα παραδοσιακά όρια της διδασκαλίας και της εκπαίδευσης του μαθητή, τον άνθρωπο που στέκεται δίπλα σου στα «δύσκολα» σε υποστηρίζει και σε καθοδηγεί, που η πόρτα του είναι πάντα ανοικτή για να ακούσει τα θέματα που έχεις να παρουσιάσεις και να συζητήσεις. Νομίζω πως ο καθηγητής Νικόλαος Ουζούνoglou, πέρα από μεγάλος και εξαιρετικά σημαντικός ερευνητής και επιστήμονας είναι και ιδανικός «δάσκαλος». Ήταν μοναδική εμπειρία που συνεργάστηκα μαζί του, ήταν εξαιρετική τιμή που εκπόνησα τη διδακτορική μου διατριβή μαζί του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Franz Bogner (Πανεπιστήμιο Bayreuth) που με βοήθησε πάρα πολύ στο σχεδιασμό των μεθοδολογιών αξιολόγησης και των σχετικών εργαλείων με βάση τα οποία κατάφερα να συγκεντρώσω σημαντικό αριθμό δεδομένων για να υποστηρίξω τα αποτελέσματα της ερευνητικής μου προσπάθειας. Η συμβολή του καθηγητή Franz Bogner ήταν εξαιρετικά σημαντική στην αξιολόγηση του συστήματος «Εργαστήριο του Αύριο», καθώς μου έδωσε πρόσβαση στα επίσημα ερωτηματολόγια TIMSS που χρησιμοποίησα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την τεχνική ομάδα της εταιρείας ANKO που σχεδίασε και ανέπτυξε το φορητό σύστημα «Εργαστήριο του Αύριο». Τους ευχαριστώ για την επιμονή και την υπομονή τους στο να ενσωματώσουν στο σύστημα τις προτάσεις και τις λειτουργίες που κριθηκαν απαραίτητες. Οι κύριοι Μιλτιάδης Αναστασιάδης και Φώτης Ψωμαδέλης δημιούργησαν ένα μοναδικό εκπαιδευτικό εργαλείο που σίγουρα προωθεί την ανακαλυπτική μάθηση.

Ευχαριστώ επίσης θερμά την τεχνική ομάδα του Fraunhofer Institute of Technology (FIT, Sankt Augustin) που σχεδίασε και ανέπτυξε τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή. Ευχαριστώ ιδιαίτερα από την μεγάλη ομάδα συνεργατών, τους

Δρ. Michael Wittkamper και Δρ. Hagen Bulhotz για την εξαιρετική συνεργασία και την φιλοξενία τους στη Γερμανία κατά τη διάρκεια ανάπτυξης και προσαρμογής του συστήματος.

Θέλω να ευχαριστήσω επίσης τον Δρ. Μιχαήλ Γαργαλάκο και την κα Χαρά Ψαρρή για την εξαιρετικά πολύτιμη βοήθεια τους σε όλες τις φάσεις της προσπάθειάς μου.

Η εργασία αυτή δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την υποστήριξη του σχολείου μου, των «Εκπαιδευτηρίων Γιαννόπουλου» όπου εργάζομαι από το 1996. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Γενικό Διευθυντή των εκπαιδευτηρίων, κ. Χαράλαμπο Γιαννόπουλο, τον Διευθυντή Λυκείου κ. Θωμά Μαλάμη και τη Διευθύντρια Γυμνασίου κ. Ελένη Κουτσογέωργα για την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη τους όλα αυτά τα χρόνια. Εύχομαι πως η ερευνητική αυτή εργασία θα με βοηθήσει να συνεισφέρω ακόμα περισσότερο στο διδακτικό έργο που επιτελείται στο σχολείο μου.

Αφιερώνω την εργασία μου αυτή στην οικογένειά μου, τις τρεις κόρες μου Ελευθερία, Αλεξάνδρα, Γεωργία-Λυδία και τον σύζυγο μου Δρ. Σοφοκλή Σωτηρίου που όχι μόνο με υποστήριξαν σημαντικά, αλλά και με βοήθησαν με κάθε τρόπο που μπορούσαν.

Η ερευνητική μου προσπάθεια πραγματοποιήθηκε με τη χορήγηση εκπαιδευτικής άδειας από το Τμήμα Β Δευτεροβάθμιας Ιδιωτικής Εκπαίδευσης του Ενιαίου Διοικητικού Τομέα Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης του Υπουργείου Παιδείας Δια Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι Τεχνολογίες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας αλλάζουν τη διαδικασία της μάθησης με τρόπους που προηγουμένως δεν μπορούσαμε να φανταστούμε. Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της εκπαιδευτικής τεχνολογίας οδηγούν στη δημιουργία νέων περιβαλλόντων μάθησης με τη χρήση εξομοιώσεων, οπτικοποιήσεων, μοντέλων, εκπαιδευτικών παιχνιδιών, επαναχρησιμοποιήσιμων εκπαιδευτικών εφαρμογών και περιεχομένου. Υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη διαδικασία της εκπαιδευτικής καινοτομίας, οι οποίες πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά, για να εκμεταλλευτούμε τις τεχνολογίες αυτές με στόχο τη βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας. Οι προηγμένες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για άλλους λόγους και εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες πρέπει να μετατραπούν σε εργαλεία προσβάσιμα και φιλικά για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς. Τα τεχνικά κριτήρια θα πρέπει να αναπτυχθούν και να προσαρμοστούν, για να βοηθήσουν στη καθοδήγηση της ανάπτυξης του εκπαιδευτικού περιεχομένου, το οποίο θα προέρχεται από πολυάριθμες πηγές από όλο τον κόσμο και θα είναι διαθέσιμο κάθε στιγμή. Η τεχνολογική κοινότητα πρέπει να ισχυροποιήσει τις συνεργασίες της με την εκπαιδευτική κοινότητα. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα πρέπει να προετοιμαστούν για ραγδαία τεχνολογική αλλαγή.

Η προστιθέμενη αξία της εισαγωγής των νέων εκπαιδευτικών εργαλείων έγκειται στην αναβάθμιση της υπάρχουσας εκπαιδευτικής πραγματικότητας και ειδικότερα σε περιοχές που όπου οι παρούσες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις φαίνεται να αποτυγχάνουν. Μία χαρακτηριστική περίπτωση είναι η διδασκαλία των φυσικών επιστημών ειδικότερα στις τάξεις του Λυκείου. Οι διδασκόμενες έννοιες (π.χ. ταχύτητα, επιτάχυνση, ορμή, στροφορμή, δύναμη, ώθηση, τριβή, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πεδία) παρουσιάζονται στους μαθητές με θεωρητικό τρόπο, ασύνδετες με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών. Το αποτέλεσμα είναι η διδασκαλία να μην κεντρίζει το ενδιαφέρον των μαθητών και αυτοί με τη σειρά τους να χάνουν το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες αλλά και γενικότερα για τις διαδικασίες της επιστημονικής μεθοδολογίας.

Στο πλαίσιο αυτό η παρούσα ερευνητική εργασία φιλοδοξεί να παρουσιάσει εκπαιδευτικές εφαρμογές προηγμένων τεχνολογικών εργαλείων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Διαφορετικές θεματικές περιοχές έχουν επιλεγεί για την πραγματοποίηση στοχευμένων διδακτικών παρεμβάσεων που αναδεικνύουν την προστιθέμενη αξία της τεχνολογίας στη διδασκαλία αλλά και κύρια στην κατανόηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων και εννοιών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο σχεδιασμό των δραστηριοτήτων αυτών δόθηκε στο να βοηθήσουν να διατηρήσουν το ενδιαφέρον τους όλοι οι μαθητές των τάξεων που συμμετείχαν. Συστηματικά και μεθοδικά παρουσιάζουμε παρεμβάσεις που μπορούν να οδηγήσουν τους μαθητές από την έμπρακτη κατανόηση των νόμων της μηχανικής και την εφαρμογή τους στην καθημερινή ζωή, στην αντίληψη των «αόρατων» ηλεκτρομαγνητικών και ηχητικών κυμάτων αλλά και του συναρπαστικού κόσμου της κβαντικής συμπεριφοράς, που είναι εντελώς διαφορετική από αυτή της καθημερινής μας εμπειρίας και είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξοικειωθεί κανείς μαζί της. Η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση αναπτύσσεται σε αυτά τα τρία θεματικά πεδία μέσω τριών εκπαιδευτικών σεναρίων και της συστηματικής αξιολόγησής τους.

1. Στο πρώτο σενάριο παρουσιάζεται η εφαρμογή της χρήσης φορετών υπολογιστών και αισθητήρων στη θεματική περιοχή της Νευτώνειας Μηχανικής με στόχο τη σύνδεση των νόμων της Φυσικής με τις καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών. Στόχος της διδακτικής παρέμβασης, υποστηριζόμενης από την τεχνολογία είναι να δείξουμε τρόπους με τους οποίους οι μαθητές θα μπορούν να αντιμετωπίσουν τα όσα συμβαίνουν γύρω τους με συστηματικό και διερευνητικό τρόπο, όπως και όταν βρίσκονται μέσα στο σχολικό εργαστήριο. Σχεδιάστηκαν εκπαιδευτικά σενάρια που βασίζονται στη χρήση φορετών συστημάτων αισθητήρων που συλλέγουν π.χ. δεδομένα επιτάχυνσης, θέσης, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των φυσικών νόμων που διέπουν την κίνηση των σωμάτων. Το φορετό σύστημα αισθητήρων και η προτεινόμενη προσέγγιση δοκιμάστηκαν σε 18 σχολεία στην Ελλάδα, την Γερμανία, την Αυστρία και την Ιταλία. Στην διαδικασία αξιολόγησης συμμετείχαν περίπου 400 μαθητές ηλικίας 15 με 16 χρονών. Οι

μαθητές συμμετείχαν στη εκπαιδευτική προσέγγιση για ολόκληρη τη σχολική χρονιά (σχολικό έτος 2008-2009) ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Συγκεντρώθηκαν ποσοτικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αξιολόγησης TIMSS που αποτελεί σημείο αναφοράς σε διεθνές επίπεδο για την καταγραφή των επιδόσεων των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες και τα Μαθηματικά. Επιπρόσθετα βιντεοσκοπήθηκαν 500 ώρες μαθημάτων με στόχο να μελετηθεί σε βάθος η ένταξη της εκπαιδευτικής προσέγγισης στην εκπαιδευτική διαδικασία και να διαπιστωθεί εάν η καταγραφόμενη βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών συνδυάζεται πραγματικά με την τροποποίηση της εκπαιδευτικής προσέγγισης. Για το λόγο αυτό τα βιντεοσκοπημένα μαθήματα μελετήθηκαν από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες. Στην πρώτη περίπτωση μελετήθηκε το προφίλ του κάθε μαθήματος με βάση τις εκπαιδευτικές προσεγγίσεις των εκπαιδευτικών και με αναφορά τις παραμέτρους που προκύπτουν από τις βασικές εκπαιδευτικές δραστηριότητες που αυτές περιλαμβάνουν (διάλεξη, εξέταση, διάλογο, πειραματισμό, κλπ.). Στη δεύτερη περίπτωση τα ίδια μαθήματα μελετήθηκαν με σημείο αναφοράς τις δραστηριότητες των μαθητών και τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διέπουν την ανακαλυπτική διδασκαλία..

2. Στο δεύτερο σενάριο η μελέτη μας στρέφεται στα άτυπα περιβάλλοντα μάθησης (μουσεία και κέντρα επιστημών). Στους χώρους αυτούς ο στόχος των δημιουργών τους είναι να παρουσιάσουν μια εντελώς ελεύθερη ανακαλυπτική προσέγγιση χωρίς δομή και ακολουθία που δεν μπορεί να ενταχθεί εύκολα στην παραδοσιακή προσέγγιση της τυπικής μάθησης που λαμβάνει χώρα στο σχολείο. Έτσι οι εκπαιδευτικές επισκέψεις στους χώρους αυτούς μετατρέπονται σε σχολικές εκδρομές αφήνοντας ανεκμετάλλευτο ένα τεράστιο εκπαιδευτικό δυναμικό που είναι αποθηκευμένο στους χώρους αυτούς. Και εδώ η τεχνολογία μπορεί να έχει καταλυτικό ρόλο. Επιτρέποντας τόσο στους εκπαιδευτικούς να σχεδιάζουν με τον δικό τους τρόπο τις εκπαιδευτικές διαδρομές στα μουσεία και τους μουσειοπαιδαγωγούς να παρουσιάζουν τη δική τους προσέγγιση, οι τεχνολογίες της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας φέρουν στο επίκεντρο της διαδικασίας τον ίδιο τον μαθητή που μπορεί να ακολουθεί διαφορετικά εκπαιδευτικά μονοπάτια, να έχει πρόσβαση στο δομημένο υλικό του αναλυτικού προγράμματος αλλά και να αντλεί διαρκώς ερεθίσματα από τις ανακαλυπτικές προσεγγίσεις του μουσείου. Τις «γέφυρες» που στήνει η τεχνολογία ανάμεσα στην τυπική και άτυπη μάθηση μελετούμε στο κεφάλαιο αυτό επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας σε θέματα Ηλεκτρομαγνητισμού και Κυματικής. Εκπαιδευτικά σενάρια που συνδέουν το αναλυτικό πρόγραμμα του σχολείου με τις πλούσιες διαδραστικές εκθέσεις Κέντρων Επιστημών και Μουσείων που βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τα φυσικά φαινόμενα υπό μελέτη, σχεδιάστηκαν αρχικά, επεκτάθηκαν, τροποποιήθηκαν και βελτιώθηκαν στη συνέχεια από τους εν ενεργεία εκπαιδευτικούς με τους οποίους συνεργαστήκαμε. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την προτεινόμενη διασύνδεση είναι η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας, χάρη στην οποία ψηφιακό περιεχόμενο (εικόνες, κείμενα, βίντεο, προσομοιώσεις, 3-διάστατες απεικονίσεις κ.α.) μπορεί να παρουσιάζεται στο οπτικό πεδίο των μαθητών, όταν αυτοί βρίσκονται μπροστά σε ένα έκθεμα που παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο και να εμπλουτίζει ποικιλότροπα την εκπαιδευτική προσέγγιση, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη μαθησιακή διαδικασία. Στόχος της αξιολόγησης ήταν η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης προσέγγισης σε σύγκριση με μία συνηθισμένη εκπαιδευτική επίσκεψη στη διαδραστική έκθεση του Ιδρύματος Ευγενίδου. Η διαδικασία αξιολόγησης στηρίχθηκε σε ερωτηματολόγια που σχεδιάστηκαν για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς, συνεντεύξεις, συζητήσεις σε ομάδες και παράλληλη βιντεοσκόπηση των δραστηριοτήτων. Η διαδικασία της βιντεοσκόπησης είναι πολύ σημαντική για την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων. Οι δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν τις περιόδους Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2009 και Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2010. Συμμετείχαν συνολικά 220 μαθητές και μαθήτριες από το Λύκειο των Εκπαιδευτηρίων «Ελληνογερμανική Αγωγή» και από το 2^ο Λύκειο Αργυρούπολης. 120 από αυτούς επισκέφθηκαν τα εκθέματα και αλληλεπίδρασαν μαζί τους μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (ομάδα εφαρμογής Α) ενώ οι υπόλοιποι 100 επισκέφθηκαν τα ίδια εκθέματα και αλληλεπίδρασαν μαζί τους χωρίς όμως να κάνουν χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (ομάδα ελέγχου). Τον Ιανουάριο του 2011 η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη συμμετοχή 47 μαθητών από το Λύκειο Γλαύκης, που βρίσκεται στο ομώνυμο χωριό στην οροσειρά της Ροδότης, περίπου 60χμ

Βόρεια της Ξάνθης. Οι μαθητές αυτοί επισκέφτηκαν το Ίδρυμα Ευγενίδου «εικονικά» μέσω της ευρυζωνικής δορυφορικής σύνδεσης που διαθέτει το σχολείο τους και αποτέλεσαν την ομάδα εφαρμογής Β. Και οι τρεις ομάδες μαθητών ακολούθησαν την προτεινόμενη εκπαιδευτική διαδρομή. Οι εκπαιδευτικοί προσάρμοσαν το προτεινόμενο εκπαιδευτικό σενάριο ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των τμημάτων τους και με βάση την εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθούν στο μάθημα τους.

3. Στο τρίτο σενάριο κρίναμε σκόπιμο, στην προσπάθειά μας να αναδείξουμε το δυναμικό τόσο της ανακαλυπτικής προσέγγισης αλλά και των σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων να καταπιαστούμε με την «μυστηριώδη» συμπεριφορά των ατομικών σωματιδίων. Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε στους μαθητές της Γ' Λυκείου (17-18 ετών) ένα φαινόμενο το οποίο είναι αδύνατον να έχει κάποια κλασική εξήγηση, και στο οποίο εμπεριέχεται η βαθύτερη ουσία της κβαντομηχανικής. Δεν θα μπορέσουμε να «εξηγήσουμε» στους μαθητές το πως ακριβώς «λειτουργεί». Θα τους παρουσιάσουμε πώς «λειτουργεί» και με αυτόν τον τρόπο θα τους έχουμε μιλήσει για τις βασικές ιδιορρυθμίες που εμφανίζονται στην κβαντική μηχανική. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι όλο το «μυστήριο» της κβαντικής μηχανικής περικλείεται στο πείραμα των δύο σχισμών και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο τοποθετείται στην αφητηρία οποιασδήποτε συζήτησης σχετικά με τη φύση της κβαντικής θεωρίας. Το πείραμα πραγματοποιείται για ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια περνώντας από τις δυο σχισμές σχηματίζουν στον ανιχνευτή (πέτασμα) που βρίσκεται πίσω τους εναλλασσόμενες λωρίδες της συμβολής σαν να ήταν δηλαδή κύματα και όχι σωματίδια που περνούν από τις σχισμές. Το εν λόγω πείραμα ψηφίστηκε από τους αναγνώστες του περιοδικού Physics World το 2002 ως το ομορφότερο πείραμα στην ιστορία ενώ η απόδειξη της δισυπόστατης φύσης του κβαντικού κόσμου παραμένει ένα από τα μεγαλύτερα μυστήρια του φυσικού κόσμου που όμως έχουμε αποδεχτεί και εφαρμόσει στις επιστήμες. Ακολουθώντας την ανακαλυπτική μέθοδο σχεδιάσαμε μία διδακτική παρέμβαση και πραγματοποιήσαμε μία σειρά μαθημάτων με μαθητές της Γ' Λυκείου της «Ελληνογερμανικής Αγωγής». Στα μαθήματα συμμετείχαν συνολικά 54 μαθητές ηλικίας 17 με 18 ετών. 24 από αυτούς συμμετείχαν σε ημι-δομημένες συνεντεύξεις ώστε να πραγματοποιηθεί μία εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων και να επιβεβαιωθεί η επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των φαινομένων που είχαν παρουσιαστεί. Επίσης ακολουθώντας την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση τον Μάιο του 2011 πραγματοποιήθηκε μία διάλεξη με ταυτόχρονη επίδειξη του συστήματος με φοιτητές του ΕΜΠ. Συμμετείχαν συνολικά 18 φοιτητές ηλικίας 20 με 21 ετών. Και οι 18 φοιτητές έλαβαν μέρος στις ημι-δομημένες συνεντεύξεις ώστε να πραγματοποιηθεί μία εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων και να επιβεβαιωθεί η επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των φαινομένων που είχαν παρουσιαστεί.

ABSTRACT

Powerful new technologies promise to transform education and training in ways previously unimaginable. Rapid advancements in educational technologies in the years ahead could enable new learning environments using simulations, visualizations, immersive environments, game playing, intelligent tutors and avatars, reusable building blocks of digital content, address distributed communities of learners, and many more. There are many challenges in the process of educational innovation that must be addressed in order to take advantage of these technologies to improve learning. Advanced technologies developed to meet other purposes must be translated into affordable tools for learners to use. Technical standards must be deployed to help guide the development of educational content that will be drawn from countless sources throughout the world. The technology community has to form stronger partnerships with the educational community. The educational institutions need to prepare for rapid technological change.

A great deal of high-quality research, focused on technology utilization and effects in both school and non-school settings, is required through. Only by collecting and analyzing data on student learning can we hope to short out the many variables that determine effectiveness. The same type of research is also needed to explore analyze, and improve each of the many other components of educational systems.

In this framework our work aims to bring together research outcomes from a wide range of technology and education fields to look into the future and to share visions as to what the learning experiences and educational technologies could be like. Three cases of futuristic scenarios and visions are presented, analyzed, assessed and discussed in detail. These offer a glimpse of a future in which learners could explore worlds and cultures beyond their own, both in distance and time, as if they were there. And they will serve to remind us that we must strive to apply the power of technology in ways that empower people, enlighten the mind and enrich our lives. Taking advantage from the current political move in science and mathematics education and the implementation of some major re-schooling initiatives in Greece, our aim focuses on an innovative science and mathematics learning environment, which integrates modern technologies with the aim to create an open technology-enhanced classroom that builds on the strengths of formal and informal teaching and learning strategies in ways that can support learning of all individual students. This environment is embedded into interactive learning settings as well as assessment tools. If we want a powerful innovative culture in schools which is self-sustaining we have to empower system-aware practitioners, working ever more closely with the service users in order to create it. And to avoid simply creating interesting but isolated experiments, we have to design in collaborative ways of learning and enquiry between professionals – a “pull” rather than “push” approach.

This work combines a selection of studies which may key contribute to the evolution of schools innovation and improvement: a new approach to stimulating, incubating, and accelerating of innovation, which is strongly driven by users’ needs. The work is described in the framework of three innovative scenarios, focusing on the areas of mechanics, E/M and Sound Waves and Quantum Mechanics.

The first scenario “Teaching Real-Life Science in the Lab of Tomorrow”, presents an innovative way to introduce inquiry-based methods in the science classrooms is using advanced technological applications. It presents an advanced wearable system that consists of a series of tiny, programmable devices that are embedded in clothing, footballs and other items. The system monitors the wearer’s running pace, body temperature, heart beat rate or the acceleration of a ball. This practical information can be translated into examples of science theory, raising interest and motivation among students, and improving the learning process. In this way, everyday activities are becoming subject of science experimentation. Students personally may better experience the procedures involved in an authentic research project and thereby may gain a far

better understanding of science. 400 students from 18 schools from Greece, Germany, Austria and Italy were involved in the study for a period of 8 months (one school year) during their science lessons. Quantitative and qualitative data were analyzed in detail, pointing to a significant improvement of learning outcomes in both subjects, Physics and Mathematics as well. Additionally, a video capturing study demonstrates a great opportunity to the teachers to adopt inquiry-based methods in their lessons and to implement teaching strategies that can facilitate learning about scientific inquiry, by developing the abilities of inquiry and understanding scientific concepts and principles.

The second scenario titled “Assessing the impact of technology-enhanced field trips in science centers and museums” presents an innovative approach that crosscuts the boundaries between schools, museums and science centers and involves the participating students in extended episodes of playful learning. Advanced learning schemes that have been developed to facilitate in-situ learning are implemented in an always available educational environment that has been developed with the support of emerging technologies. This was practically achieved by a) the use of Augmented Reality tools which enhance the learning experience of a physical visit by providing contextualized and personalized information and b) by setting up a real-time communication channel through broadband satellite connection between the science center and remote classrooms, offering unique learning experiences to students that are not able to perform physical visits. Our study compares the findings from physical and virtual visits of 12th grade students to a interactive exhibition which was technology supported with augmented reality tools: Technology supported physical visits provide significantly improved learning outcomes by increasing curiosity scores as well as the willingness to communicate and to share enlightening experiences with other students. Additionally, the eagerness to using new technologies is increased as well as the endowment with acquiring knowledge through having fun and experiencing. Furthermore, the application of the specifically applied emerging technologies could facilitate the development of advanced learning experiences in the framework of virtual visits, by significantly increase the learning outcomes and the motivation scores.

The third scenario is focusing on an even more complex subject: The discussion of the particle-wave duality of electrons. Our aim with this scenario is to set a framework for assessing the impact of the Science Center to Go augmented reality system on students understanding of the double nature of electrons. Our methodology includes the implementation of the six complex questions which are classified as interpretive and interviews with students focusing on the comparison of the behaviour of the atomic electrons and the electrons at the Double Slit Experiment. The double-slit experiment is a natural sub-topic in the discussion of photons, since it requires both a wave and a particle description of quanta in order to completely account for experimental observations. In this experiment, a mono chromatic beam impinges on two closely spaced slits and diffracts; wavelets spread out behind the slits and interfere in the regions where they overlap, with bright fringes appearing on the detection screen where the antinodal lines intersect. Our study indicates that the Science Center to Go system could help students to understand quite complex phenomena taking into account that the teachers should be aware of the potential impact they may have on student thinking as a consequence of their instructional choices regarding interpretation.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	15
2	Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο σχολείο	22
2.1	Ιστορική αναδρομή	22
2.1.1	Το παραδοσιακό ρεύμα	22
2.1.2	Το ανακαλυπτικό ρεύμα	22
2.1.3	Το εποικοδομητικό ρεύμα	23
2.1.4	Το ρεύμα του επιστημονικού αλφαριθμητισμού	24
2.2	Το αντικείμενο του μαθήματος	24
2.3	Διδασκαλία των φυσικών επιστημών και σχολικές βαθμίδες	26
2.4	Διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη δεύτερη και τρίτη σχολική βαθμίδα	27
2.5	Στοιχεία διαμόρφωσης ενδιαφέροντος - αποτελεσματικού μαθήματος	29
2.5.1	Ο ρόλος του εκπαιδευτικού	29
2.5.2	Παραλληλισμός του περιεχομένου του μαθήματος με τα ενδιαφέροντα των μαθητών	30
2.5.3	Μεγιστοποίηση της συμμετοχής των μαθητών στη μαθησιακή πορεία	31
2.5.4	Αντιμετώπιση των πρώιμων και εσφαλμένων αντιλήψεων	32
2.6	Μεθόδευση της διδακτικής πορείας	34
2.6.1	Στάδιο της δημιουργίας κινήτρων	35
2.6.2	Στάδιο της επεξεργασίας	36
2.6.3	Στάδιο της εμβάθυνσης	36
2.7	Διδακτικά μοντέλα	37
2.7.1	Επιλογή διδακτικού μοντέλου	39
2.7.2	Το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο	40
2.7.3	Η Ανακαλυπτική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών - Μια Ανανεωμένη Παιδαγωγική προσέγγιση για το Μέλλον της Ευρώπης	45
3	Προηγμένες Τεχνολογικές εφαρμογές για την αναβάθμιση της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών	47
3.1	Το Εργαστήριο του Αύριο	49
3.1.1	Αρχιτεκτονική Συστήματος	50
3.2	Ένα Εικονικό Κέντρο Επιστημών	53
3.2.1	Το σύστημα Επαυξημένης Πραγματικότητας	53
3.2.2	Το Εικονικό Κέντρο Επιστημών	56
3.3	Εικονικές Επισκέψεις σε μουσεία και κέντρα διάδοσης της Επιστήμης	63
3.3.1	Πιλοτική Εφαρμογή σε Απομακρυσμένα Σχολεία και ΕΚΦΕ	63
3.3.2	Συμπεράσματα για την τεχνική υλοποίηση των εικονικών επισκέψεων	70
3.4	Εικονικά Πειράματα στο Σχολικό Εργαστήριο	71
3.4.1	Ένα Μουσείο Επιστημών στη σχολική τάξη	72
3.4.2	Προσομοιώνοντας το πείραμα της Διπλής Σχισμής	73
4	Συνδέοντας τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών με την καθημερινή ζωή – Νευτώνεια Μηχανική	75
4.1	Εισαγωγή	75
4.2	Παιδαγωγική Προσέγγιση	75
4.2.1	Σενάριο χρήσης	77
4.3	Αξιολόγηση της εκπαιδευτικής προσέγγισης	78
4.3.1	Μεθοδολογία Αξιολόγησης	78
4.3.2	Ανάλυση Δεδομένων από τα Ερωτηματολόγια TIMSS	82
4.3.3	Ανάλυση Δεδομένων από τις Βιντεοσκοπήσεις	83
4.4	Συμπεράσματα	86
5	Συνδέοντας Τυπικά και Άτυπα περιβάλλοντα μάθησης – Οπτικοποιώντας Η/Μ και Ηχητικά Κύματα	88
5.1	Εισαγωγή	88
5.2	Παιδαγωγική Προσέγγιση - Σχεδιασμός Εκπαιδευτικών Διαδρομών	89
5.3	Σενάριο Εφαρμογής – Ηλεκτρομαγνητικά και Ηχητικά κύματα	91
5.3.1	Αναλυτική Περιγραφή του Σεναρίου	94

5.4	Αξιολόγηση της Εκπαιδευτικής Προσέγγισης.....	99
5.4.1	Αξιολογώντας την επίτευξη των εκπαιδευτικών στόχων της προτεινόμενης προσέγγισης	100
5.4.2	Αξιολογώντας την επίδραση της προτεινόμενης προσέγγισης στην διαφοροποίηση των στάσεων των μαθητών απέναντι στην Επιστήμη και την Τεχνολογία. 103	
5.5	Συμπεράσματα	104
6	Αναπτύσσοντας προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις για τη διδασκαλία της Κβαντομηχανικής. Αξιοποίηση των Νοητικών Πειραμάτων	106
6.1	Εισαγωγή	106
6.2	Τα Νοητικά Πειράματα στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	107
6.3	Οι δυσκολίες στη διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής.....	109
6.4	Το πείραμα της Διπλής Σχισμής στη σχολική τάξη	111
6.4.1	Το εκπαιδευτικό σενάριο	112
6.5	Αξιολόγηση της Εκπαιδευτικής Προσέγγισης.....	118
6.5.1	Μεθοδολογία.....	118
6.5.2	Ανάλυση των δεδομένων.....	119
6.6	Συμπεράσματα	123
7	Παραρτήματα	125
	Αναφορές.....	149

1 Εισαγωγή

Οι Τεχνολογίες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας αλλάζουν τη διαδικασία της μάθησης με τρόπους που προηγουμένως δεν μπορούσαμε να φανταστούμε. Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της εκπαιδευτικής τεχνολογίας οδηγούν στη δημιουργία νέων περιβαλλόντων μάθησης με τη χρήση εξομοιώσεων, οπτικοποιήσεων, μοντέλων, εκπαιδευτικών παιχνιδιών, επαναχρησιμοποιήσιμων εκπαιδευτικών εφαρμογών και περιεχομένου. Υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη διαδικασία της εκπαιδευτικής καινοτομίας, οι οποίες πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά, για να εκμεταλλευτούμε τις τεχνολογίες αυτές με στόχο τη βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας. Οι προηγμένες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για άλλους λόγους και εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες πρέπει να μετατραπούν σε εργαλεία προσβάσιμα και φιλικά για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς. Τα τεχνικά κριτήρια θα πρέπει να αναπτυχθούν και να προσαρμοστούν, για να βοηθήσουν στη καθοδήγηση της ανάπτυξης του εκπαιδευτικού περιεχομένου, το οποίο θα προέρχεται από πολυάριθμες πηγές από όλο τον κόσμο και θα είναι διαθέσιμο κάθε στιγμή. Η τεχνολογική κοινότητα πρέπει να ισχυροποιήσει τις συνεργασίες της με την εκπαιδευτική κοινότητα. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα πρέπει να προετοιμαστούν για ραγδαία τεχνολογική αλλαγή.

Η προστιθέμενη αξία της εισαγωγής των νέων εκπαιδευτικών εργαλείων έγκειται στην αναβάθμιση της υπάρχουσας εκπαιδευτικής πραγματικότητας και ειδικότερα σε περιοχές που όπου οι παρούσες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις φαίνεται να αποτυγχάνουν. Μία χαρακτηριστική περίπτωση είναι η διδασκαλία των φυσικών επιστημών ειδικότερα στις τάξεις του Λυκείου. Οι διδασκόμενες έννοιες (π.χ. ταχύτητα, επιτάχυνση, ορμή, στροφορμή, δύναμη, ώθηση, τριβή, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πεδία) παρουσιάζονται στους μαθητές με θεωρητικό τρόπο, ασύνδετες με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών. Το αποτέλεσμα είναι η διδασκαλία να μην κεντρίζει το ενδιαφέρον των μαθητών και αυτοί με τη σειρά τους να χάνουν το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες αλλά και γενικότερα για τις διαδικασίες της επιστημονικής μεθοδολογίας. Το παράδοξο είναι ότι όλες οι έννοιες των φυσικών επιστημών που διδάσκονται στο σχολείο αφορούν στις καθημερινές μας δραστηριότητες και είναι άμεσα συνδεδεμένες με την καθημερινή μας ζωή. Κι όμως η εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθείται στο σύνολο των σχολείων (όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό) αγνοεί επίμονα αυτούς τους ισχυρότατους δεσμούς.

Τα αποτελέσματα διεθνών ερευνών (TIMSS, PISA, ROSE) έρχονται να επιβεβαιώσουν την αστοχία των σημερινών εκπαιδευτικών προσεγγίσεων και να τονίσουν την ανάγκη για αλλαγή του σκηνικού καθώς η απογοήτευση των μαθητών στα τελευταία χρόνια των σπουδών τους απέναντι στις φυσικές επιστήμες μοιραία οδηγεί στη δημιουργία μίας κοινωνίας όπου η επιστημονική σκέψη δεν φαίνεται να αποτελεί το βασικό κριτήριο λήψης αποφάσεων. Τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο η προετοιμασία των νέων με όλα εκείνα τα εφόδια που απαιτούνται για να λειτουργήσουν και να δημιουργήσουν στην Κοινωνία της Γνώσης είναι βασικός στόχος. Η αλλαγή στάσης της κοινής γνώμης και ειδικότερα των νέων απέναντι στις φυσικές επιστήμες αποτελεί αυτή τη στιγμή κύρια προτεραιότητα των περισσότερων εκπαιδευτικών συστημάτων στην Ευρώπη.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα διερευνηθούν οι δυνατότητες που παρέχουν προηγμένες τεχνολογικές εφαρμογές (φορητοί υπολογιστές, ασύρματοι αισθητήρες, εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, ευρυζωνικές δορυφορικές επικοινωνίες) στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Μέσω πρακτικών σεναρίων χρήσης που έχουν εφαρμοστεί πιλοτικά, θα παρουσιαστούν οι δυνατότητες των τεχνολογικών εφαρμογών για εκπαιδευτική χρήση καθώς και οι βέλτιστες πρακτικές για την αξιοποίησή τους.

Μερικές από τις βασικές ερωτήσεις που θα επιχειρηθούν να απαντηθούν είναι:

- Πως μπορούν οι νέες τεχνολογίες να μεταφέρουν το βάρος της μαθησιακής διαδικασίας από τον εκπαιδευτικό προς τον μαθητή; Πώς η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει ώστε οι μαθητές να εμπλακούν πιο ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία;
- Πώς μπορούμε να καταπολεμήσουμε αποτελεσματικά τις λανθασμένες αντιλήψεις τους; Πώς μπορούμε να αυξήσουμε το ενδιαφέρον τους για τα θέματα των Φυσικών Επιστημών;
- Πως μπορεί να διδαχθεί η Φυσική μέσα από απλές καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών, όπως το παιχνίδι;
- Με ποιους τρόπους μπορεί να καταλυθεί το ανελαστικό όριο ανάμεσα στην τυπική και την άτυπη μάθηση στις Φυσικές επιστήμες;
- Πως μπορούν οι μαθητές, μέσω των τεχνολογικών εφαρμογών, να έχουν πρόσβαση σε επιστημονική γνώση αιχμής και σε διαδραστικά πειράματα που απαιτούν ιδιαίτερο εξοπλισμό;
- Πώς μπορούμε να βοηθήσουμε τους εκπαιδευτικούς να έχουν πάντα στη διάθεση τους μία πληθώρα εφαρμογών και προσεγγίσεων που θα τους επιτρέψει να ανταποκρίνονται στις τόσο διαφορετικές ανάγκες των μαθητών τους;
- Πως μπορούμε να ενισχύσουμε την ομαλή συναρμογή παραδοσιακά διακριτών επιστημονικών πεδίων; Πως αυτή η διαθεματικότητα μπορεί να αποτελέσει παραγωγικό πλεονέκτημα στη διδακτική πρακτική;

Η παρούσα ερευνητική εργασία φιλοδοξεί να παρουσιάσει εκπαιδευτικές εφαρμογές προηγμένων τεχνολογικών εργαλείων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Διαφορετικές θεματικές περιοχές έχουν επιλεγεί για την πραγματοποίηση στοχευμένων διδακτικών παρεμβάσεων που αναδεικνύουν την προστιθέμενη αξία της τεχνολογίας στη διδασκαλία αλλά και κύρια στην κατανόηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων και εννοιών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο σχεδιασμό των δραστηριοτήτων αυτών δόθηκε στο να βοηθήσουν να διατηρηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών που συμμετείχαν. Συστηματικά και μεθοδικά παρουσιάζουμε παρεμβάσεις που μπορούν να οδηγήσουν τους μαθητές από την έμπρακτη κατανόηση των νόμων της μηχανικής και την εφαρμογή τους στην καθημερινή ζωή, στην αντίληψη των «αόρατων» ηλεκτρομαγνητικών και ηχητικών κυμάτων αλλά και του συναρπαστικού κόσμου της κβαντικής συμπεριφοράς, που είναι εντελώς διαφορετική από αυτή της καθημερινής μας εμπειρίας και είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξοικειωθεί κανείς μαζί της. Σε όλες τις διδακτικές παρεμβάσεις που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή ο μαθητής έχει κυρίαρχο ρόλο. Ο μαθητής παρουσιάζει τις απόψεις του, σχολιάζει, σκέφτεται, συζητά τα διάφορα ζητήματα. Οι διδακτικές αυτές παρεμβάσεις απαιτούν σημαντικές αλλαγές στην οργάνωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας και πρακτικής. Και εδώ ο ρόλος της τεχνολογίας ξεπροβάλλει ως πολλά υποσχόμενη λύση. Στην εργασία αυτή διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις, διαδικτυακές εφαρμογές και περιβάλλοντα σχεδιασμού εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, φορητοί υπολογιστές και ασύρματοι αισθητήρες, εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιήθηκαν για να υποστηρίξουν την περιγραφή, την οπτικοποίηση και την μοντελοποίηση των φυσικών φαινομένων. Οι τεχνολογικές αυτές λύσεις σχεδιάστηκαν έχοντας στο επίκεντρο τις ανάγκες του εκπαιδευτικού και τους μαθησιακούς στόχους. Είναι τα ίδια τα εργαλεία αυτά τα οποία υποστηρίζουν την επιτυχή έκβαση των διδακτικών παρεμβάσεων, αυτά που υποστηρίζουν τις διαδικασίες αξιολόγησης αλλά και δίνουν κυρίαρχο ρόλο στον μαθητή.

Η παρούσα ερευνητική εργασία αναπτύσσεται σε πέντε (5) κύρια μέρη.

1. Στο πρώτο μέρος (Κεφάλαιο 2) της εργασίας παρουσιάζεται αναλυτική περιγραφή του πεδίου της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών στη β' βάρθμια εκπαίδευση με εκτεταμένη βιβλιογραφική αναφορά. Παρουσιάζονται οι θεωρητικές προσεγγίσεις που παρουσιάζονται σήμερα ως αυτές που μπορούν να διαφοροποιήσουν το σκηνικό της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών σε Ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Παρουσιάζονται οι βασικές

κατευθύνσεις που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε η διδασκαλία αλλά και κυρίως η μάθηση να γίνουν πιο ενδιαφέρουσες διαδικασίες, τόσο για τους διδάσκοντες όσο και για τους μαθητές. Παρουσιάζεται επίσης αναλυτική περιγραφή του επικρατέστερου σήμερα ανακαλυπτικού μοντέλου μάθησης, του ερευνητικά εξελισσόμενου διδακτικού μοντέλου το οποίο σύμφωνα και με τις πιο πρόσφατες έρευνες, προβάλλει ως το καταλληλότερο για να υποστηρίξει την πιο αποτελεσματική διδασκαλία των Φυσικών επιστημών στη συγκεκριμένη σχολική βαθμίδα. Το περιεχόμενο του κεφαλαίου αυτού αποτελεί τη βάση της ερευνητικής μας προσπάθειας καθώς όλες οι εφαρμογές που θα παρουσιαστούν υπηρετούν τις προτεινόμενες παιδαγωγικές θεωρήσεις ενώ όλα τα εκπαιδευτικά σενάρια που συνοδεύουν τις εφαρμογές στηρίζονται στην ανακαλυπτική μάθηση και το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο.

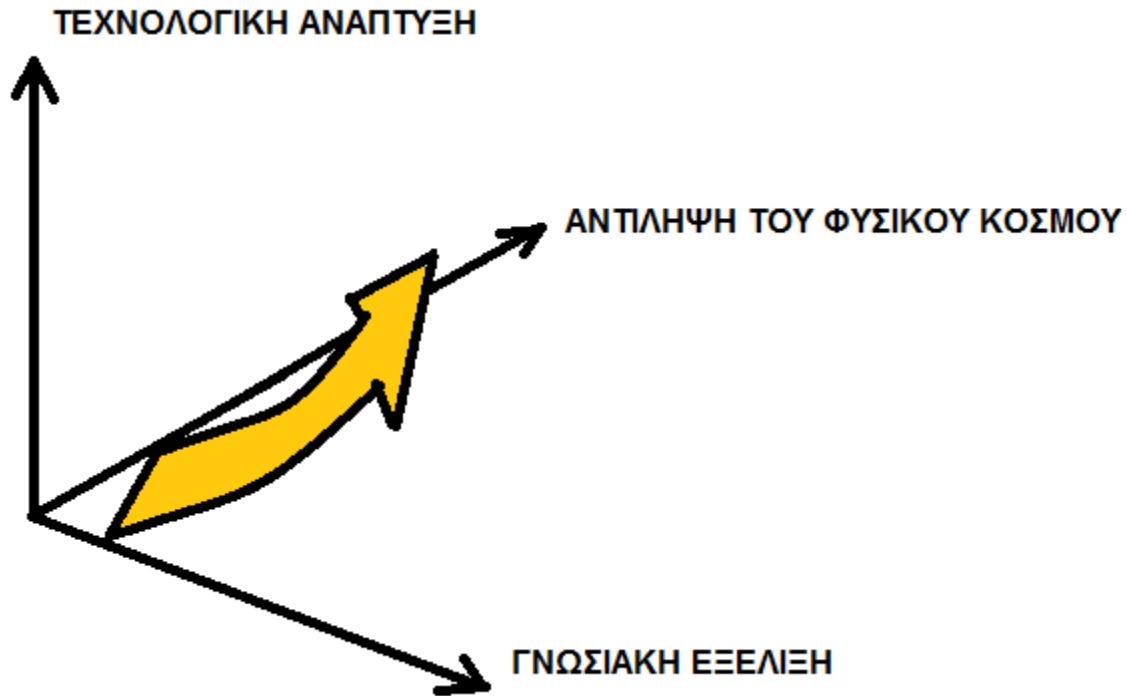
2. Στο δεύτερο μέρος (Κεφάλαιο 3) της εργασίας θα αναδείξουμε τις δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία για την επιδιωκόμενη αλλαγή σκηνικού στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο σχολείο. Η υπόθεση που αποτελεί τη βάση της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας είναι ότι η συμπλήρωση της παραδοσιακής επιστημονικής μεθοδολογίας πειραματισμού, με οπτικοποιήσεις, αναπαραστάσεις, εφαρμογές και εργαλεία κατασκευής μοντέλων θα βοηθήσει τους μαθητές, να εκφράσουν τα νοητικά μοντέλα τους, να κάνουν καλύτερες προβλέψεις και να πραγματοποιούν αποτελεσματικότερους συλλογισμούς. Κύριος στόχος της προτεινόμενης προσέγγισης είναι η καταπολέμηση των λανθασμένων αντιλήψεων των μαθητών. Είναι δεδομένο πως μαθητές μαθαίνουν και κατανοούν ευκολότερα συγκεκριμένες έννοιες σε δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εκτός των ορίων της σχολικής τάξης, στην καθημερινή ζωή, στις εκπαιδευτικές δραστηριότητες στα μουσεία φυσικών επιστημών αλλά και σε επισκέψεις σε επιστημονικά και ερευνητικά κέντρα. Προτείνουμε εδώ τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την ανάπτυξη εφαρμογών που α) θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες των εκπαιδευτικών και στους μαθησιακούς στόχους, β) θα διασύνδεουν το σχολείο και το αναλυτικό πρόγραμμα με την καθημερινή ζωή, με την άτυπη μάθηση αλλά και με την επιστημονική έρευνα, γ) θα προσφέρουν αντίστοιχες ευκαιρίες σε μαθητές και εκπαιδευτικούς που σήμερα δεν έχουν τη δυνατότητα να εμπλακούν στις διαδικασίες αυτές λόγω γεωγραφικής ή οικονομικής απομόνωσης και τέλος δ) θα υποστηρίζουν την ανταλλαγή καλών πρακτικών και σεναρίων μεταξύ των εκπαιδευτικών και θα υποστηρίζουν τη γρήγορη και αποτελεσματική διάδοση της καινοτομίας.
3. Στο τρίτο μέρος (Κεφάλαιο 4) παρουσιάζεται η εφαρμογή της χρήσης φορετών υπολογιστών και αισθητήρων στη θεματική περιοχή της Νευτώνειας Μηχανικής με στόχο τη σύνδεση των νόμων της Φυσικής με τις καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών. Στόχος της διδακτικής παρέμβασης, υποστηριζόμενης από την τεχνολογία είναι να δείξουμε τρόπους με τους οποίους οι μαθητές θα μπορούν να αντιμετωπίσουν τα όσα συμβαίνουν γύρω τους με συστηματικό και διερευνητικό τρόπο, όπως και όταν βρίσκονται μέσα στο σχολικό εργαστήριο. Σχεδιάστηκαν εκπαιδευτικά σενάρια που βασίζονται στη χρήση φορετών συστημάτων αισθητήρων που συλλέγουν π.χ. δεδομένα επιτάχυνσης, θέσης, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των φυσικών νόμων που διέπουν την κίνηση των σωμάτων. Το φορετό σύστημα αισθητήρων και η προτεινόμενη προσέγγιση δοκιμάστηκαν σε 18 σχολεία στην Ελλάδα, την Γερμανία, την Αυστρία και την Ιταλία. Στην διαδικασία αξιολόγησης συμμετείχαν περίπου 400 μαθητές ηλικίας 15 με 16 χρονών. Οι μαθητές συμμετείχαν στην εκπαιδευτική προσέγγιση για ολόκληρη τη σχολική χρονιά (σχολικό έτος 2008-2009) ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Συγκεντρώθηκαν ποσοτικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αξιολόγησης TIMSS που αποτελεί σημείο αναφοράς σε διεθνές επίπεδο για την καταγραφή των επιδόσεων των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες και τα Μαθηματικά. Επιπρόσθετα βιντεοσκοπήθηκαν 500 ώρες μαθημάτων με στόχο να μελετηθεί σε βάθος η ένταξη της εκπαιδευτικής προσέγγισης στην εκπαιδευτική διαδικασία και να διαπιστωθεί εάν η καταγραφόμενη βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών συνδυάζεται πραγματικά με την τροποποίηση της εκπαιδευτικής προσέγγισης. Για το λόγο αυτό τα βιντεοσκοπημένα μαθήματα μελετήθηκαν από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες. Στην πρώτη περίπτωση μελετήθηκε το προφίλ του κάθε μαθήματος με βάση τις εκπαιδευτικές προσεγγίσεις των εκπαιδευτικών και με αναφορά τις παραμέτρους που προκύπτουν από τις βασικές εκπαιδευτικές δραστηριότητες που αυτές

περιλαμβάνουν (διάλεξη, εξέταση, διάλογο, πειραματισμό, κλπ.). Στη δεύτερη περίπτωση τα ίδια μαθήματα μελετήθηκαν με σημείο αναφοράς τις δραστηριότητες των μαθητών και τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διέπουν την ανακαλυπτική διδασκαλία.

4. Στο τέταρτο μέρος (Κεφάλαιο 5) η μελέτη μας στρέφεται στα άτυπα περιβάλλοντα μάθησης (μουσεία και κέντρα επιστημών). Παρά το γεγονός πως η αξία των εκπαιδευτικών επισκέψεων σε αυτά τα περιβάλλοντα αναγνωρίζεται σε όλα τα εκπαιδευτικά συστήματα του κόσμου, η πραγματική ενσωμάτωση των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων στο αναλυτικό πρόγραμμα φαίνεται να απέχει αρκετά. Στους χώρους αυτούς, ο στόχος των δημιουργών τους είναι να παρουσιάσουν μια εντελώς ελεύθερη ανακαλυπτική προσέγγιση χωρίς δομή και ακολουθία που δεν μπορεί να ενταχθεί εύκολα στην παραδοσιακή προσέγγιση της τυπικής μάθησης που λαμβάνει χώρα στο σχολείο. Έτσι οι εκπαιδευτικές επισκέψεις μετατρέπονται σε σχολικές εκδρομές αφήνοντας ανεκμετάλλευτο ένα τεράστιο εκπαιδευτικό δυναμικό που είναι αποθηκευμένο στους χώρους αυτούς. Και εδώ η τεχνολογία μπορεί να έχει καταλυτικό ρόλο. Επιτρέποντας τόσο στους εκπαιδευτικούς να σχεδιάζουν με τον δικό τους τρόπο τις εκπαιδευτικές διαδρομές στα μουσεία και τους μουσειοπαιδαγωγούς να παρουσιάζουν τη δική τους προσέγγιση, οι τεχνολογίες της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας φέρουν στο επίκεντρο της διαδικασίας τον ίδιο τον μαθητή που μπορεί να ακολουθεί διαφορετικά εκπαιδευτικά μονοπάτια, να έχει πρόσβαση στο δομημένο υλικό του αναλυτικού προγράμματος αλλά και να αντλεί διαρκώς ερεθίσματα από τις ανακαλυπτικές προσεγγίσεις του μουσείου. Τις «γέφυρες» που στήνει η τεχνολογία ανάμεσα στην τυπική και άτυπη μάθηση μελετούμε στο κεφάλαιο αυτό επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας σε θέματα Ηλεκτρομαγνητισμού και Κυματικής. Εκπαιδευτικά σενάρια που συνδέουν το αναλυτικό πρόγραμμα του σχολείου με τις πλούσιες διαδραστικές εκθέσεις Κέντρων Επιστημών και Μουσείων που βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τα φυσικά φαινόμενα υπό μελέτη, σχεδιάστηκαν αρχικά, επεκτάθηκαν, τροποποιήθηκαν και βελτιώθηκαν στη συνέχεια από τους εν ενεργεία εκπαιδευτικούς με τους οποίους συνεργαστήκαμε. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την προτεινόμενη διασύνδεση είναι η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας, χάρη στην οποία ψηφιακό περιεχόμενο (εικόνες, κείμενα, βίντεο, προσομοιώσεις, 3-διάστατες απεικονίσεις κ.α.) μπορεί να παρουσιάζεται στο οπτικό πεδίο των μαθητών, όταν αυτοί βρίσκονται μπροστά σε ένα έκθεμα που παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο και να εμπλουτίζει ποικιλότροπα την εκπαιδευτική προσέγγιση, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη μαθησιακή διαδικασία. Στόχος της αξιολόγησης ήταν η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης προσέγγισης σε σύγκριση με μία συνηθισμένη εκπαιδευτική επίσκεψη στη διαδραστική έκθεση του Ιδρύματος Ευγενίδου. Η διαδικασία αξιολόγησης στηρίχθηκε σε ερωτηματολόγια που σχεδιάστηκαν για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς, συνεντεύξεις, συζητήσεις σε ομάδες και παράλληλη βιντεοσκόπηση των δραστηριοτήτων. Η διαδικασία της βιντεοσκόπησης είναι πολύ σημαντική για την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων. Οι δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν τις περιόδους Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2009 και Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2010. Συμμετείχαν συνολικά 220 μαθητές και μαθήτριες από το Λύκειο των Εκπαιδευτηρίων «Ελληνογερμανική Αγωγή» και από το 2^ο Λύκειο Αργυρούπολης. 120 από αυτούς επισκέφτηκαν τα εκθέματα και αλληλεπίδρασαν μαζί τους μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (ομάδα εφαρμογής Α) ενώ οι υπόλοιποι 100 επισκέφτηκαν τα ίδια εκθέματα και αλληλεπίδρασαν μαζί τους χωρίς όμως να κάνουν χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (ομάδα ελέγχου). Τον Ιανουάριο του 2011 η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη συμμετοχή 47 μαθητών από το Λύκειο Γλαύκης, που βρίσκεται στο ομώνυμο χωριό στην οροσειρά της Ροδόπης, περίπου 60χμ Βόρεια της Ξάνθης. Οι μαθητές αυτοί επισκέφτηκαν το Ίδρυμα Ευγενίδου «εικονικά» μέσω της ευρυζωνικής δορυφορικής σύνδεσης που διαθέτει το σχολείο τους και αποτέλεσαν την ομάδα εφαρμογής Β. Και οι τρεις ομάδες μαθητών ακολούθησαν την προτεινόμενη εκπαιδευτική διαδρομή. Οι εκπαιδευτικοί προσαρμόσαν το προτεινόμενο εκπαιδευτικό σενάριο ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των τμημάτων τους και με βάση την εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθούν στο μάθημα τους.
5. Στο πέμπτο μέρος (Κεφάλαιο 6) κρίναμε σκόπιμο, στην προσπάθειά μας να αναδείξουμε το δυναμικό, τόσο της ανακαλυπτικής προσέγγισης όσο και των σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων, να καταπιαστούμε με την «μυστηριώδη» συμπεριφορά των ατομικών σωματιδίων.

Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε στους μαθητές της Γ' Λυκείου (17-18 ετών) ένα φαινόμενο το οποίο είναι αδύνατον να έχει κάποια κλασική εξήγηση, και στο οποίο εμπειριέχεται η βαθύτερη ουσία της κβαντομηχανικής. Δεν θα μπορέσουμε να «εξηγήσουμε» στους μαθητές το πως ακριβώς «λειτουργεί». Θα τους παρουσιάσουμε πώς «λειτουργεί» και με αυτόν τον τρόπο θα τους έχουμε μιλήσει για τις βασικές ιδιορρυθμίες που εμφανίζονται στην κβαντική μηχανική. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι όλο το «μυστήριο» της κβαντικής μηχανικής περικλείεται στο πείραμα των δύο σχισμών και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο τοποθετείται στην αφητηρία οποιασδήποτε συζήτησης σχετικά με τη φύση της κβαντικής θεωρίας. Το πείραμα πραγματοποιείται για ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια περνώντας από τις δυο σχισμές σχηματίζουν στον ανιχνευτή (πέτασμα) που βρίσκεται πίσω τους εναλλασσόμενες λωρίδες της συμβολής σαν να ήταν δηλαδή κύματα και όχι σωματίδια που περνούν από τις σχισμές. Το εν λόγω πείραμα ψηφίστηκε από τους αναγνώστες του περιοδικού Physics World το 2002 ως το ομορφότερο πείραμα στην ιστορία ενώ η απόδειξη της δυσυπόστατης φύσης του κβαντικού κόσμου παραμένει ένα από τα μεγαλύτερα μυστήρια του φυσικού κόσμου που όμως έχουμε αποδεχτεί και εφαρμόσει στις επιστήμες. Ακολουθώντας την ανακαλυπτική μέθοδο σχεδιάσαμε μία διδακτική παρέμβαση και πραγματοποιήσαμε μία σειρά μαθημάτων με μαθητές της Γ Λυκείου της «Ελληνογερμανικής Αγωγής». Στα μαθήματα συμμετείχαν συνολικά 54 μαθητές ηλικίας 17 με 18 ετών. 24 από αυτούς συμμετείχαν σε ημι-δομημένες συνεντεύξεις ώστε να πραγματοποιηθεί μία εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων και να επιβεβαιωθεί η επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των φαινομένων που είχαν παρουσιαστεί. Επίσης ακολουθώντας την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση τον Μάιο του 2011 πραγματοποιήθηκε μία διάλεξη με ταυτόχρονη επίδειξη του συστήματος με φοιτητές του ΕΜΠ. Συμμετείχαν συνολικά 18 φοιτητές ηλικίας 20 με 21 ετών. Και οι 18 φοιτητές έλαβαν μέρος στις ημι-δομημένες συνεντεύξεις ώστε να πραγματοποιηθεί μία εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων και να επιβεβαιωθεί η επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των φαινομένων που είχαν παρουσιαστεί.

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε πως η εξέλιξη της εργασίας μας πραγματοποιείται σε τρεις άξονες που συνεισφέρουν όλοι στην διαμόρφωση ενός νέου τρόπου διδασκαλίας, πιο ανακαλυπτικού και πιο συμμετοχικού που φαίνεται να έχει πολύ καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα. Ο πρώτος άξονας είναι η προσδοκώμενη γνωσιακή εξέλιξη των μαθητών, η καλύτερη κατανόηση των εννοιών και των νόμων πίσω από τα φαινόμενα τα οποία διδάσκονται στο σχολείο. Στο πλαίσιο της εργασίας μας αναφερόμαστε σε έννοιες και φαινόμενα όλο πιο πολύπλοκα που δημιουργούν πολλά προβλήματα τόσο σε εκπαιδευτικούς όσο και μαθητές. Ο δεύτερος άξονας που κατά τη γνώμη μας η συγκεκριμένη εργασία κύρια στοχεύει είναι η καλύτερη αντίληψη του φυσικού κόσμου γύρω μας. Η εργασία μας προτείνει έναν πιο βιωματικό τρόπο διδασκαλίας, έναν τρόπο που μπορεί να βοηθήσει όλους τους μαθητές να αντιληφθούν καλύτερα το τι συμβαίνει γύρω τους, ακόμα και στο επίπεδο του κόσμου των στοιχειωδών σωματιδίων που διέπεται από τους νόμους της Κβαντικής Μηχανικής. Και αυτό γίνεται πλέον δυνατόν για έναν κύριο λόγο. Διότι σήμερα τα τεχνολογικά μέσα που αποτελούν τον τρίτο άξονα της εργασίας, μπορούν να οπτικοποιήσουν το αόρατο, να προσομοιώσουν πολύπλοκες διαδικασίες με απλούστατο τρόπο, να συλλέξουν δεδομένα από το παιχνίδι μας και την καθημερινή μας ζωή είναι διαθέσιμα. Χάρη σε αυτά το παιχνίδι των μαθητών μπορεί να μετατραπεί σε μέσο πειραματισμού και ανάλυσης των φυσικών νόμων (όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 4), χάρη σε αυτά η επίσκεψη σε ένα μουσείο επιστημών μπορεί να αποτελέσει μία μοναδική μαθησιακή εμπειρία καθώς το ενδιαφέρον των μαθητών είναι εξαιρετικά αυξημένο όταν βρίσκονται στους χώρους αυτούς (όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5) και πάλι χάρη σε αυτά η αριστοτεχνική διάλεξη του Feynman για το μυστηριώδες ταξίδι των ηλεκτρονίων από την πηγή στο πέτασμα μέσω ενός τοιχώματος με διπλή σχισμή μπορεί να μετατραπεί σε παιχνίδι σε ένα κόσμο που συνδυάζει το εικονικό με το πραγματικό (όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 6). Και επιπρόσθετα υπάρχουν όλα εκείνα τα εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν τον κάθε εκπαιδευτικό να δημιουργήσει το δικό του περιεχόμενο ή να βρει έτοιμη την εφαρμογή που χρειάζεται ανάμεσα στο τεράστιο πλήθος των διαθέσιμων σχετικών εφαρμογών.



Εικόνα 1.1 Η εξέλιξη της εργασίας μας πραγματοποιείται σε τρεις άξονες που συνεισφέρουν όλοι στην διαμόρφωση ενός νέου τρόπου διδασκαλίας, πιο ανακαλυπτικού και πιο συμμετοχικού που φαίνεται να έχει πολύ καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα. Η γνωσιακή εξέλιξη περιλαμβάνει την κατανόηση όλο και πιο σύνθετων φυσικών νόμων και εννοιών, η αντίληψη του φυσικού κόσμου περιλαμβάνει τη δυνατότητα των μαθητών να συνδέουν τα φαινόμενα γύρω τους με τους φυσικούς νόμους και η τεχνολογική ανάπτυξη υποστηρίζει τις παραπάνω διαδικασίες προσφέροντας κατάλληλα εργαλεία και εφαρμογές.

Στο πλαίσιο της μελέτης μας, σχεδιάσαμε επίσης μία σειρά από εργαλεία αξιολόγησης (ειδικά για την κάθε περίπτωση) ώστε να εντοπίσουμε την επίδραση που έχει η προτεινόμενη προσέγγιση στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα αναλύθηκαν συστηματικά για να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Εναλλακτικές προσεγγίσεις αξιολόγησης εφαρμόστηκαν ώστε τα δεδομένα να αναλυθούν από διαφορετικές οπτικές και προσεγγίσεις.

Κύριο στοιχείο της προσπάθειας μας ήταν να δώσουμε στους εκπαιδευτικούς μία σειρά από εργαλεία και εφαρμογές που μπορούν να βοηθήσουν το έργο τους κάνοντας το μάθημα πιο ευχάριστο και ίσως πιο αποτελεσματικό. Με βάση τα αποτελέσματα της διαδικασίας αξιολόγησης κρίνεται πως η χρήση προηγμένων εκπαιδευτικών εφαρμογών που σχεδιάζονται υπηρετώντας τις ανάγκες εκπαιδευτικών και μαθητών μπορούν να διαφοροποιήσουν στην υπάρχουσα εικόνα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και να προδιαγράψουν μία σειρά αλλαγών τόσο εκπαιδευτικού όσο και οργανωτικού χαρακτήρα ώστε η εκπαίδευση να ξεφύγει από τα στενά όρια της σχολικής τάξης και να δημιουργήσει ισχυρούς δεσμούς με περιβάλλοντα άτυπης μάθησης όπως τα μουσεία και τα κέντρα επιστημών με στόχο την αναβάθμιση των εκπαιδευτικών προγραμμάτων αλλά και την αύξηση των κινήτρων των μαθητών για να εμπλακούν ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας σχεδιάσαμε και εφαρμόσαμε σειρά εκπαιδευτικών σεναρίων που αναδεικνύουν το δυναμικό των άτυπων χώρων μάθησης που έρχονται να αναλάβουν σημαντικό μερίδιο στην εκπαίδευση των πολιτών της κοινωνίας της γνώσης.

Η πορεία προς την αποτελεσματική ένταξη των νέων τεχνολογιών στην καθημερινή εκπαιδευτική πρακτική θα πρέπει να νοείται ως μία διαδικασία μακροπρόθεσμη και διαδραστική. Επινοούμε

εκπαιδευτικά σενάρια στηριγμένα στις νέες τεχνολογίες, τα εφαρμόζουμε σε μεγάλες πιλοτικές δοκιμές, καταγράφουμε και αναλύουμε τα αποτελέσματα και εν συνεχεία παρέχουμε την απαραίτητη ανάδραση για τον επανασχεδιασμό των σεναρίων και των προτεινόμενων εκπαιδευτικών διαδικασιών. Για να φτάσουμε στο στόχο μας απαιτείται ένας διαρκής και γόνιμος διάλογος ανάμεσα σε παιδαγωγούς, τεχνολόγους, εκπαιδευτικούς και τους φορείς που καθορίζουν την εκπαιδευτική πολιτική. Η διαδικασία αυτή είναι αυτονόητα σύνθετη και απαιτεί να αφιερωθούν πόροι και προσπάθεια, αλλά οι καρποί της προβλέπονται πλούσιοι: στο τέλος του δρόμου, μας περιμένει το σχολείο του αύριο, ένα σχολείο σχεδιασμένο για τον μαθητή, ανοικτό στην κοινωνία και την άτυπη μάθηση, που θα παρέχει σε όλους του συντελεστές – μαθητές και εκπαιδευτικούς- μοναδικές ευκαιρίες για δημιουργία και αυτοπραγμάτωση.

2 Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο σχολείο

2.1 Ιστορική αναδρομή

Παρουσιάζουμε μία σύντομη ιστορική αναδρομή της εξέλιξης της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών και τα κύρια ρεύματα που διαμόρφωσαν την εξελικτική αυτή πορεία. Θα πρέπει να επισημανθεί εδώ πως σήμερα η παρεχόμενη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών οικοδομείται (τουλάχιστον στην χώρα μας) σε μία σύνθεση των ρευμάτων που αναφέρονται στην συνέχεια χάνοντας πολλές φορές τον προσανατολισμό της. Το κυρίαρχο ερώτημα πάντως παραμένει για τα περισσότερα Ευρωπαϊκά εκπαιδευτικά συστήματα εάν ο στόχος της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών στο σχολείο αποβλέπει στην προετοιμασία μελλοντικών επιστημόνων (ακολουθώντας το ανακαλυπτικό ρεύμα) ή στην προετοιμασία επιστημονικά εγγραμματισμένων πολιτών (ακολουθώντας το ρεύμα του επιστημονικού αλφαριθμητισμού). Όπως φαίνεται σήμερα τα εκπαιδευτικά μας συστήματα δεν καταφέρνουν να κάνουν αποτελεσματικά ούτε το ένα ούτε το άλλο (Osborne and Dillon, 2008¹, Science, 2009²).

2.1.1 Το παραδοσιακό ρεύμα

Ενώ η διδασκαλία των φυσικών επιστημών ξεκινά να εντάσσεται στα συστήματα υποχρεωτικής εκπαίδευσης αρκετών χωρών του πλανήτη ήδη από το 19ο αιώνα, η ανάδειξη της διδακτικής τους σε ξεχωριστό πεδίο έρευνας πραγματοποιείται αρκετά αργότερα, στα μέσα περίπου του 20ου αιώνα. Επομένως, για την περίοδο 1900-1950 μάλλον θα πρέπει να αναφερόμαστε σε ρεύματα της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, παρά της διδακτικής τους. Σε αυτή την πρώτη φάση λοιπόν, η ένταξη των φυσικών επιστημών στο εκπαιδευτικό σύστημα διαφοροποιείται αρκετά από χώρα σε χώρα. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει ένα κοινό μοτίβο πίσω από αυτές τις διαφοροποιήσεις, βασιζόμενο κυρίως στην κυρίαρχη θεωρία μάθησης της εποχής, τον μπηχεύβιορισμό. Σύμφωνα με αυτήν, επιδιώκεται η εφαρμογή κατάλληλων διδακτικών μεθόδων (ερέθισμα), η οποία μπορεί να οδηγήσει στα επιθυμητά μαθησιακά αποτελέσματα (αντίδραση). Βασικό χαρακτηριστικό είναι το ότι η γνώση των φυσικών επιστημών αντιμετωπίζεται ως "πακέτο" το οποίο είναι δυνατό να μεταφερθεί από το διδάσκοντα στους μαθητές, των οποίων οι συλλογισμοί βρίσκονται σε μία αρχική κατάσταση της ανθρώπινης συνείδησης (*tabula rasa*, δηλαδή *λευκό χαρτί*). Ο διδάσκων δηλαδή θεωρείται κάτοχος ενός συνόλου γνώσεων και δεξιοτήτων, τις οποίες επιχειρεί να μεταφέρει στους μαθητές. Με αυτή την έννοια, το μοντέλο αυτό αναφέρεται και ως μοντέλο *μεταφοράς της γνώσης*. Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών βασίζεται, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, στο βιβλίο του μαθητή και τις διαλέξεις που πραγματοποιεί ο διδάσκοντας, και όχι τόσο σε εργαστηριακές πρακτικές. Τέλος, κριτήριο επιτυχίας αποτελεί η ποσότητα πληροφοριών που έχουν συγκρατήσει οι μαθητές μέχρι το πέρας της διδασκαλίας.

Στη βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών το ρεύμα αυτό συχνά χαρακτηρίζεται ως *παραδοσιακό*. Θετικές πτυχές του παραδοσιακού ρεύματος περιλαμβάνουν την επιτυχία του στη μάθηση εννοιών ή γεγονότων από το χώρο των φυσικών επιστημών.

2.1.2 Το ανακαλυπτικό ρεύμα

Το συμβάν που θα αλλάξει τα δεδομένα της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών έρχεται το 1957. Στις 4 Οκτωβρίου εκείνης της χρονιάς, η Σοβιετική Ένωση θέτει με επιτυχία σε τροχιά γύρω από τη Γη το δορυφόρο *Sputnik I*. Πρόκειται για μια επιστημονική πρωτιά σε παγκόσμιο επίπεδο και ταυτόχρονα μία πολύ δυνατή απόδειξη των επιστημονικών και τεχνολογικών δυνατοτήτων της Σοβιετικής Ένωσης. Σε ένα άλλο επίπεδο, το οικονομικό, οι ολοένα και μεγαλύτερες εφαρμογές της τεχνολογίας στην παραγωγή, που σε λίγο καιρό θα φέρουν την λεγόμενη Επιστημονική και Τεχνολογική Επανάσταση, δημιουργούν την ανάγκη για την παραγωγή από το εκπαιδευτικό σύστημα σχετικά καταρτισμένων τεχνολόγων και επιστημόνων. Έτσι με σημείο εκκίνησης τη

δεκαετία του 1960, η Αμερικανική κυβέρνηση βοηθά με μία πρωτόγνωρη για τα χρονικά οικονομική υποστήριξη και την εξασφάλιση υποδομών και εκπαιδευτικού εξοπλισμού τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Ακόμα, την περίοδο εκείνη αρχίζει και αναγνωρίζεται ο κεντρικός ρόλος που μπορεί να παίξει η διδασκαλία των φυσικών επιστημών από παιδαγωγικής άποψης. Με τις ευκαιρίες για συνολική θεώρηση του κόσμου, για κριτική σκέψη αλλά και ανακάλυψη και αυτενέργεια που προσφέρει, θεωρείται ότι μπορεί να είναι πολύ αποδοτικότερη για τη μόρφωση και την πνευματική ανάπτυξη των μαθητών από μια εκπαιδευτική διαδικασία επικεντρωμένη στα φιλολογικά/γλωσσικά μαθήματα. Το αποτέλεσμα αυτών των παραγόντων ήταν να προωθηθούν ριζικές αλλαγές στον τρόπο που μέχρι τότε διδάσκονταν οι φυσικές επιστήμες, σηματοδοτώντας ταυτόχρονα τη γέννηση της διδακτικής των φυσικών επιστημών.

Ο βασικός πλέον στόχος της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών σχετίζεται άμεσα με τις παραπάνω πολιτικές εξελίξεις. Αυτό που κυρίως επιδιώκεται είναι η 'παραγωγή' νέων και ικανών επαγγελματιών επιστημόνων. Πλέον, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών, όπως προτείνεται από τα αναλυτικά προγράμματα της εποχής, αποδίδει ιδιαίτερη έμφαση στο μαθηματικό φορμαλισμό, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε εργαστηριακές δραστηριότητες, ενώ είναι βασισμένη σε μια φιλοσοφία επίλυσης προβλημάτων σχεδιασμένη να ενθαρρύνει τους μαθητές να συμπεριφέρονται σαν επιστήμονες. Στη βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών το ρεύμα αυτό συχνά χαρακτηρίζεται ως *ανακαλυπτικό*.

Το ανακαλυπτικό πρότυπο βασίζεται σε θεωρίες της γνωστικής ψυχολογίας που αποδίδουν κεντρικό ρόλο στις δυνατότητες της ενεργητικής μάθησης. Σύμφωνα με την κεντρική τους υπόθεση, οι μαθητές είναι δυνατό να οδηγηθούν μόνοι τους στη γνώση των φυσικών επιστημών, να την «ανακαλύψουν», αν τους δοθούν τα κατάλληλα μέσα και τους υποβληθούν οι κατάλληλες καθοδηγητικές ερωτήσεις. Ο μαθητής αποτελεί πλέον το επίκεντρο της διδακτικής διαδικασίας, ενώ αποδίδεται μεγάλη σημασία στην αλληλεπιδραστική του σχέση με τα διδακτικά υλικά.

2.1.3 Το εποικοδομητικό ρεύμα

Στα τέλη της δεκαετίας του '70 εμφανίζεται πλήθος ερευνών που τονίζουν την ύπαρξη προϋπαρχουσών ιδεών των μαθητών σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα που πρόκειται να διδαχθούν. Παράλληλες εξελίξεις στον τομέα της γνωστικής ψυχολογίας αναδεικνύουν την επίδραση αυτών των ιδεών στη διδασκαλία. Σε αυτά τα πλαίσια αναπτύσσεται, στις αρχές της δεκαετίας του '80, το *εποικοδομητικό* ρεύμα για τη διδασκαλία και τη μάθηση στις φυσικές επιστήμες. Βασικό του στοιχείο, το οποίο και σαφώς το διαφοροποιεί από τα προηγούμενα ρεύματα, είναι το γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη και αξιοποιεί τις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα. Με άλλα λόγια, προτείνεται ο σχεδιασμός της διδακτικής πρακτικής με βάση τον τρόπο που οι ίδιοι οι μαθητές κατανοούν τις φυσικές έννοιες και ερμηνεύουν τα φαινόμενα της φύσης, πριν διδαχθούν τον επιστημονικό τρόπο ερμηνείας τους.

Ολόκληρη η δεκαετία του 1980 χαρακτηρίζεται από εκτενή μελέτη των προϋπαρχουσών ιδεών των μαθητών, τόσο ανά θεματική ενότητα των φυσικών επιστημών όσο και αναφορικά με τα γενικά τους χαρακτηριστικά ή τους παράγοντες που βοηθούν στην ανάπτυξή τους. Η επίδραση της σημασίας που αποδίδεται στις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών διαφαίνεται σχεδόν σε όλα τα επίπεδα της διδακτικής διαδικασίας. Όσον αφορά το περιεχόμενο των φυσικών επιστημών προτείνεται ο διδακτικός του μετασχηματισμός, δηλαδή η μετατροπή του σε γνώση κατάλληλη να διδαχθεί στους μαθητές, στη βάση των προϋπαρχουσών ιδεών τους (αρκετά συχνά χρησιμοποιείται ο όρος *σχολική επιστήμη*). Με την ίδια λογική επιλέγονται και τα πειράματα και φαινόμενα με τα οποία πρόκειται να έλθουν σε επαφή οι μαθητές. Διατηρείται η άποψη περί ενεργού συμμετοχής των μαθητών, με την έννοια ότι ενεργητικά κατασκευάζουν (*οικοδομούν*) τη γνώση, βασιζόμενοι στις προϋπάρχουσες ιδέες και εμπειρίες τους.

Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό της εποικοδομητικής προσέγγισης συνιστά η επισήμανση της μεταγνωστικής διαδικασίας. Με τον όρο *μεταγνώση* εννοείται η επίγνωση της μαθησιακής διαδικασίας από τον ίδιο το μαθητή, όρος που ίσως με απλούστερο τρόπο δηλώνεται μέσα από τη φράση «*να γνωρίζουμε τι γνωρίζουμε, να γνωρίζουμε τι δε γνωρίζουμε*». Προτείνονται δηλαδή διαδικασίες που βοηθούν και ενθαρρύνουν το μαθητή να έχει γνώση της γνωστικής του πορείας κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Τέτοιες διαδικασίες περιλαμβάνουν την ανάδειξη των γνώσεων του μαθητή, την εξάσκηση του στο να μιλάει για τις σκέψεις του, τη διατήρηση ενός ‘τετραδίου σκέψεων’, την αυτο-αξιολόγηση κτλ.

2.1.4 Το ρεύμα του επιστημονικού αλφαριθμητισμού

Στο τέλος του 20ου αιώνα οι προτάσεις που αφορούν τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών αλλάζουν για άλλη μια φορά. Κατά μία άποψη, οι παράγοντες που οδηγούν σε μια τέτοια αλλαγή είναι κυρίως κοινωνικοί. Ο πλανητικός συνθήκες χαρακτηρίζονται πλέον με τον όρο παγκοσμιοποίηση. Είτε υιοθετηθεί η ερμηνεία της πολιτισμικής παγκοσμιοποίησης (δηλαδή η ραγδαία τόνωση της επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών πολιτισμών), είτε αυτή της οικονομικής παγκοσμιοποίησης (δηλαδή η δημιουργία ενός παγκόσμιου αγοραστικού κοινού), ο ρόλος της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών επηρεάζεται άμεσα. Ενδεικτική αυτής της στροφής στη διδακτική των φυσικών επιστημών είναι η τόνωση της σημασίας που έχει πλέον η σύγκριση διάφορων χωρών του πλανήτη με κριτήριο τα αποτελέσματα διεθνούς επιπέδου αξιολογήσεων μαθητών σε θέματα φυσικών επιστημών (χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί πρόγραμμα PISA³ του ΟΟΣΑ).

Από τη μία πλευρά, η γλώσσα των φυσικών επιστημών, ο επιστημονικός λόγος, αναγνωρίζεται ότι μπορεί να λειτουργήσει σαν γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ τελείως διαφορετικών κουλτούρων και πολιτισμών. Είναι μία παγκόσμια γλώσσα. Το αποτέλεσμα είναι οι σύγχρονες προτάσεις της διδακτικής των φυσικών επιστημών να αποσκοπούν περισσότερο να αναδείξουν την σχέση των φυσικών επιστημών τόσο με την εκάστοτε τοπική κοινωνία (παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη διδακτικών προσεγγίσεων για μαθητές που προέρχονται από μειονοτικούς πληθυσμούς), όσο και με τις υπόλοιπες μορφές γνώσης, όπως είναι η τέχνη ή η θρησκεία (διαθεματική προσέγγιση της γνώσης).

Από την άλλη, η παγκοσμιοποιημένη κοινωνία είναι ταυτόχρονα μια κοινωνία καταναλωτική. Η διδακτική των φυσικών επιστημών δεν δείχνει να αποφεύγει αυτή την κοινωνική απαίτηση. Βασικός σκοπός δεν είναι τόσο η δημιουργία μελλοντικών επιστημόνων (βλ. «ανακαλυπτικό ρεύμα»), όσο η δημιουργία μελλοντικών πολιτών, οι οποίοι είναι εξοικειωμένοι με τη χρήση της τεχνολογίας, βασικό εκφραστή της επιστημονικής δραστηριότητας στην παγκόσμια αγορά. Σε αυτά τα πλαίσια, η σημασία της τεχνολογίας στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών παύει να περιορίζεται στο ρόλο του εργαλείου (με τη μορφή σύγχρονων μέσων διδασκαλίας) και αναδεικνύεται ως γνωστικό αντικείμενο. Η τεχνολογία αποτελεί αντικείμενο προς διδασκαλία και εντάσσεται στα Αναλυτικά Προγράμματα πολλών χωρών του πλανήτη. Χαρακτηριστικό είναι, ότι το συγκεκριμένο ρεύμα συχνά αναφέρεται και ως «επιστημονικός και τεχνολογικός αλφαριθμητισμός».

2.2 Το αντικείμενο του μαθήματος

«Οι φυσικές επιστήμες δεν περιορίζονται στο να περιγράφουν και να εξηγούν τη φύση, αποτελούν μέρος της αλληλεπίδρασης της φύσης με εμάς, περιγράφουν τη φύση, όπως αυτή αποκαλύπτεται στη δική μας μέθοδο ερωτήσεων.»
W. Heisenberg

Οι φυσικές επιστήμες και οι εφαρμογές τους έχουν έκταση που δεν είναι δυνατό να καλυφθεί στο πλαίσιο του σχολικού μαθήματος. Η διαμόρφωση του αναλυτικού προγράμματος, ο καθορισμός των σκοπών και στόχων προϋποθέτουν την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων, την κριτική

θεώρηση του περιεχομένου του μαθήματος από διαφορετικές οπτικές γωνίες και την επιλογή των στοιχείων που απαραίτητα πρέπει να συμπεριληφθούν και άλλων, λιγότερο σημαντικών, που μπορεί να παραλειφθούν (Bleichroth 1991⁴). Η επιλογή αυτή πρέπει να συναντά την ευρύτερη δυνατή συναίνεση μεταξύ των εμπλεκομένων εκπαιδευτικών φορέων και να βρίσκεται σε συνάρτηση με τη γενικότερη αποστολή του σχολείου για παροχή μόρφωσης και αγωγής που εξυπηρετεί το στόχο της ανάπτυξης της προσωπικότητας και υποστηρίζει την κοινωνική ένταξη του μαθητή με

- πρακτική βοήθεια στον οικιακό χώρο
- στοιχεία για τη διαμόρφωση αντίληψης για τον εργασιακό χώρο
- γνώσεις χρήσιμες για την αποφυγή ατυχημάτων στην καθημερινή ζωή
- κατανόηση των εξελίξεων στο χώρο των φυσικών επιστημών και της τεχνολογίας
- διαπίστωση των κινδύνων που οι εξελίξεις αυτές συνεπάγονται
- διαμόρφωση άποψης για κοινωνικά ζητήματα σχετικά με τις φυσικές επιστήμες.

Οι φυσικές επιστήμες προσεγγίζουν μεγάλο εύρος επιστημονικών, τεχνολογικών αλλά και κοινωνικών θεμάτων με μοναδική μεθοδολογία. Η διδασκαλία τους εξασφαλίζει πρακτικά, επαγγελματικά και κοινωνικά εφόδια απαραίτητα για καθένα μας ξεχωριστά αλλά και την κοινωνία συνολικά. Η αντιμετώπισή τους στο σχολικό πρόγραμμα πρέπει να οργανώνεται με τρόπο τέτοιο, ώστε να αξιοποιούνται συστηματικά αλλά και με ισομέρεια όλες αυτές οι παράμετροι. Ερωτήματα για την ποιότητα ζωής σήμερα και στο μέλλον σχετίζονται άμεσα με τους παραπάνω προβληματισμούς και καθιστούν επιτακτική ανάγκη για το κοινωνικό σύνολο την προσφορά της ουσιαστικής, πρακτικής, καθημερινά εφαρμόσιμης γνώσης στο σύνολο των μαθητών. Οι επιστήμες διαφοροποιούνται μεταξύ τους τόσο στο περιεχόμενο όσο και στη μεθοδολογία προσέγγισης. Το μάθημα των φυσικών επιστημών συνεπώς διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα τόσο στο περιεχόμενο όσο και στη μεθοδολογία. Η παλαιότερη αντίληψη για τις φυσικές επιστήμες, ως σύνολο δεδομένων κανόνων και μαθηματικών διατυπώσεων που τους περιγράφουν, έδωσε σταδιακά τη θέση της στην επίγνωση του εξελικτικού χαρακτήρα της επιστήμης, ο οποίος διαμορφώνεται δυναμικά, δίνοντάς μας μια ολοένα ακριβέστερη εικόνα για τον κόσμο στον οποίο ζούμε: «Αντιλαμβάνομαι τις φυσικές επιστήμες σαν μια διαδικασία που εδώ και 2500 χρόνια αλλάζει συνεχώς τη σχέση του ανθρώπου με τη φύση, την αντίληψή του γι' αυτήν και συνεπώς τον ίδιο τον άνθρωπο» (Wagenschein, 1976)⁵.

Είναι προφανές ότι δεν μπορεί να οριοθετηθεί η γνώση του αντικειμένου ανεξάρτητα από την επίγνωση της μεθόδου από την οποία αυτή προέκυψε. Το σύνολο των γνώσεών μας στις φυσικές επιστήμες έχει προκύψει από την έρευνα. Η διδασκαλία συνεπώς των βασικών στοιχείων της ερευνητικής μεθόδου είναι αναγκαία (Rocard, 2007⁶). Χαρακτηριστικό της σύγχρονης έρευνας είναι η ομαδική εργασία, ο καταμερισμός των ερευνητικών προσπαθειών σε πολλούς επιστήμονες, που εργάζονται συντονισμένα με κοινό στόχο, καθώς επίσης και η έντονη ανάπτυξη των δυνατοτήτων διασποράς των συμπερασμάτων, με αποτέλεσμα την κριτική αξιολόγηση και αξιοποίηση για περαιτέρω προσπάθειες. Η σύγχρονη ερευνητική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών είναι ένα από τα αποτελεσματικότερα συστήματα παραγωγής, αξιοποίησης και διασποράς πληροφορίας. Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι τα βασικά αυτά στοιχεία πρέπει να χαρακτηρίζουν και το μάθημα των φυσικών επιστημών.

Το δίλημμα της επιλογής της αντιμετώπισης των φυσικών επιστημών ως συνόλου δεδομένων γνώσεων ή ως εξελισσόμενου μεθοδολογικού πλαισίου παραγωγής γνώσης συναντάται έντονο στη χάραξη της στρατηγικής για τη διδακτική αντιμετώπιση των φυσικών επιστημών στο σχολικό χώρο. Η πρώτη αντίληψη εξυπηρετείται αποτελεσματικά με τη μετωπική, θεωρητική διδασκαλία, την έμφαση στον ορθολογισμό και τη μαθηματική – φορμαλιστική διάσταση του μαθήματος, ενώ η δεύτερη προϋποθέτει τη σημαντική περικοπή στη διδακτέα ύλη, την υιοθέτηση πειραματικής διδασκαλίας με έμφαση στη μεθοδολογία και τη διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων, όχι στα αποτελέσματα αυτά καθ' αυτά. Η μετάδοση της μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών και η προσέγγιση της ιστορικότητας της γνώσης, με δεδομένο το πλήθος των διδακτικών ωρών που αντιστοιχούν στις φυσικές επιστήμες, δεν είναι δυνατές χωρίς κάποιους συμβιβασμούς στην έκταση της διδακτέας ύλης που θα αντιμετωπιστεί. Οι φυσικές επιστήμες μελετούν τη νομοτέλεια

του περιβάλλοντος κόσμου, οδηγούν συνεπώς στην ανάπτυξη γνώσης, της οποίας η άμεση ή έμμεση εφαρμογή οδηγεί σε καινοτομίες που επηρεάζουν τη ζωή καθενός μας. Ο χαρακτήρας αυτός της διαπλοκής της επιστήμης με τη ζωή καθενός μας της προσδίδει πέρα από την επιστημονική και έντονα κοινωνική διάσταση. Ο διαχωρισμός της κοινωνίας σε λίγους «ειδικούς» και πολλούς «αδαείς» να προσεγγίσουν τις φυσικές επιστήμες (Nolte, 1987⁷), όπως τείνει να διαμορφωθεί σήμερα, είναι υπ' αυτή τη θεώρηση ιδιαίτερα επικίνδυνος. Πώς κατοχυρώνεται ο κοινωνικός ρόλος της επιστήμης, σε συνάρτηση και με την ηθική νομιμοποίηση για τη χρήση ή και κατάχρηση της εφαρμογής της επιστήμης, όταν η συντριπτική πλειοψηφία των πολιτών δε διαθέτει το υπόβαθρο, για να συμμετάσχει στον διάλογο που θα οδηγήσει στη λήψη των σχετικών αποφάσεων; Η μια άποψη σχετικά με το ερώτημα αυτό είναι ότι αποφάσεις τέτοιας σημασίας αναγκαστικά πρέπει να λαμβάνονται από τους ειδικούς. Οι μη ειδικοί, οι «αδαείς», δεν πρέπει να έχουν λόγο, ακριβώς επειδή δε διαθέτουν τις απαιτούμενες γνώσεις αλλά και λόγω της συναισθηματικής φόρτισης που αντίστοιχες «δύσκολες» αποφάσεις προκαλούν (Bleichroth, 1991α). Ο αντίλογος στην παραπάνω άποψη ξεκινά με δεδομένο το δικαίωμα του κάθε πολίτη να έχει άποψη σχετικά με τα διλήμματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της επιστήμης και της τεχνολογίας. Το δικαίωμα αυτό κατοχυρώνει αντίστοιχο δικαίωμα στο υπόβαθρο γνώσης, που θα επιτρέψει την ορθή και τεκμηριωμένη στάση. Η επιστημονική κοινότητα, αφενός μέσω της εκπαίδευσης και αφετέρου απλοποιώντας τα ερωτήματα στο επίπεδο του δεδομένου υποβάθρου, οφείλει να συντελέσει στην εξασφάλιση του δικαιώματος αυτού.

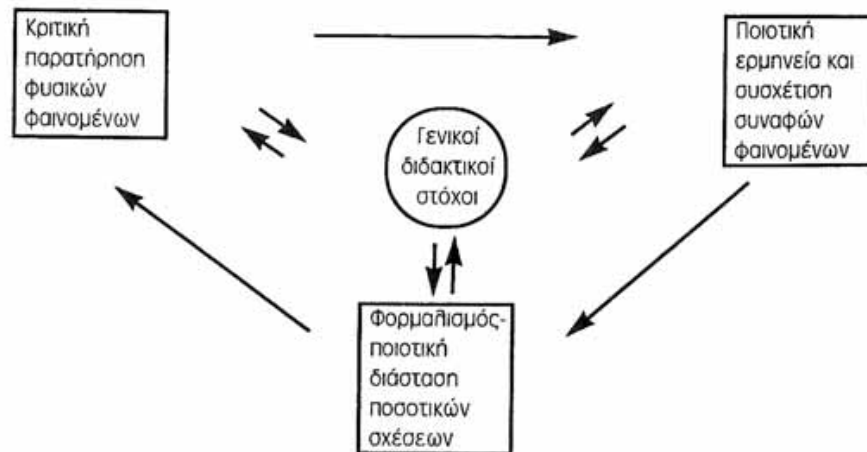
Συνεπώς η διαμόρφωση υπεύθυνων πολιτών, έτοιμων και ώριμων να συναποφασίζουν, προκαλεί στο εκπαιδευτικό σύστημα την υποχρέωση της προσαρμογής και ανταπόκρισης με τρόπο τέτοιο που να διασφαλίζεται και να κατοχυρώνεται ο κοινωνικός χαρακτήρας της επιστήμης (Osborne and Dillon 2008).

2.3 Διδασκαλία των φυσικών επιστημών και σχολικές βαθμίδες

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών προκύπτει από την ανεξάρτητη αντιμετώπιση των σχετικών μαθημάτων στις τρεις σχολικές βαθμίδες, από την έλλειψη δηλαδή ενός ενιαίου πλαισίου διδακτικής αντιμετώπισής τους, ανεξάρτητου από τη διοικητική τομή της σχολικής πορείας σε βαθμίδες. Ανάλογα με την ηλικία των μαθητών διαμορφώνεται και το μαθησιακό δυναμικό τους, οπότε αντίστοιχα πρέπει να διαμορφώνεται και η εμβάθυνση της διδασκαλίας. Είναι όμως ανάγκη σε κάθε στάδιο να αξιοποιείται το γνωστικό δυναμικό που έχει ήδη κατακτηθεί και να συνδέεται με το νέο υλικό που θα παρουσιαστεί στους μαθητές.

Η ποιοτική διάσταση της ερμηνείας των φαινομένων προηγείται της ποσοτικής και φορμαλιστικής. Έτσι η διδασκαλία της φυσικής στην α' βαθμίδα πρέπει να εξυπηρετεί κυρίως το στόχο της συστηματικής παρατήρησης, τη συνειδητοποίηση της εξέλιξης των φαινομένων από το μαθητή (παρατηρησιακή διάσταση). Στη β' βαθμίδα η διδασκαλία πρέπει κατ' αρχήν να στοχεύει στην ποιοτική προσέγγιση της ερμηνείας των φαινομένων (ερμηνευτική διάσταση) με σταδιακή εισαγωγή στις ποσοτικές σχέσεις και το φορμαλισμό, ενώ στη γ' βαθμίδα η διδασκαλία πρέπει να εδραιώνεται με την ολοκλήρωση της ποσοτικής αντιμετώπισης και το μαθηματικό φορμαλισμό (φορμαλιστική διάσταση), που συνδέεται και αναφέρεται όμως σε φαινόμενα των οποίων η ποιοτική ερμηνεία έχει εδραιωθεί αποτελεσματικά στις προηγούμενες βαθμίδες. Έτσι οι μαθητές δεν απομνημονεύουν μηχανικά το φορμαλισμό, κατανοούν ουσιαστικά τη διάστασή του ως μαθηματική συμπύκνωση της ποιοτικής πληροφορίας που περιγράφει.

Η διδακτική πορεία περιγράφεται συνοπτικά στην εικόνα 2.1. Στο κέντρο τοποθετούνται οι διδακτικοί στόχοι, οι οποίοι επιδρούν σε κάθε στάδιο της διδακτικής διαδικασίας, και περιμετρικά η εξέλιξη της εμβάθυνσης σε κάθε διδακτικό στάδιο. Η κυκλική μορφή στην εξέλιξη της διδακτικής πορείας τονίζει εμφατικά το γεγονός ότι, ακόμη και μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας των φορμαλιστικών αλληλοσυσχετίσεων, πρέπει να είναι αυτονόητη η αναφορά της κατακτηθείσας γνώσης στην ολοκληρωμένη πια αντιμετώπιση της ερμηνείας των καθημερινών φαινομένων και των προεκτάσεών τους.



Εικόνα 2.1. Η διδακτική πορεία: Στο κέντρο τοποθετούνται οι διδακτικοί στόχοι, οι οποίοι επιδρούν σε κάθε στάδιο της διδακτικής διαδικασίας, και περιμετρικά η εξέλιξη της εμβάθυνσης σε κάθε διδακτικό στάδιο. Η κυκλική μορφή στην εξέλιξη της διδακτικής πορείας τονίζει emphatically το γεγονός ότι, ακόμη και μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας των φορμαλιστικών αλληλοσυσχετίσεων, πρέπει να είναι αυτονόητη η αναφορά της κατακτηθείσας γνώσης στην ολοκληρωμένη πια αντιμετώπιση της ερμηνείας των καθημερινών φαινομένων και των προεκτάσεών τους.

2.4 Διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη δεύτερη και τρίτη σχολική βαθμίδα

Η αξιοποίηση της συστηματικής παρατήρησης στην προηγούμενη βαθμίδα σε συνδυασμό με την κατάκτηση της μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών επιτρέπει στη β' βαθμίδα το συνδυασμό των φυσικών φαινομένων και την επιδίωξη της ένταξής τους σ' ένα γενικότερο σύστημα αναφοράς. Με τον πειραματισμό σε συνθετότερα φαινόμενα οι μαθητές οδηγούνται στην κατανόηση ενός ποιοτικού πλαισίου κανόνων (όχι υποχρεωτικά φορμαλιστικών), ικανών να εξηγήσουν ομοειδή φαινόμενα. Ο συνδυασμός επιμέρους κατασκευών οδηγεί σε συνθετότερες διατάξεις, ικανές να καλύψουν πειραματικά πιο πολύπλοκα φαινόμενα.

Η κατάκτηση της αφηρημένης σκέψης επιτρέπει τη σταδιακή προσέγγιση της ποιοτικής ερμηνείας και τις ποσοτικές παρατηρήσεις. Αυτό δε σημαίνει ότι πρέπει να επιδιώκεται αβίαστα η αφηρηματοποίηση των φαινομένων και η μετάδοση του μαθηματικού φορμαλισμού. Η διαδικασία αυτή είναι σταδιακή και πρέπει να έχει ως αφηρητά το καθημερινό, το οικείο και χειροπιαστό, ώστε η ερμηνεία να συνδεθεί επαρκώς με το πιο αφηρημένο φαινόμενο: «*Η συσκευή επίδειξης του νόμου των μοχλών δεν είναι η αρχή. Είναι αποτέλεσμα αφηρηματοποίησης, μίας γνωστικής γενίκευσης. Η αφηρηματοποίηση, την οποία το Γυμνάσιο καλείται να προκαλέσει, ξεκινά από την πένσα και το ψαλίδι, για να φτάσει στη ράβδο επίδειξης του νόμου των μοχλών...*» (Wagenschein, 1976). Η επιλογή του επιπέδου φορμαλισμού δεν μπορεί να καθοριστεί εκ των προτέρων. Εξαρτάται, πέρα από την ηλικία των μαθητών, και από το συγκεκριμένο πρόβλημα. Ο μαθηματικός τύπος, ως έκφραση της ποιοτικής σχέσης, πρέπει να είναι το τελευταίο στάδιο της διδακτικής αντιμετώπισης ενός φαινομένου.

Η πρόωρη χρήση του φορμαλισμού συνδέεται πολλές φορές με το επιχείρημα ότι χωρίς αυτόν είναι αδύνατο να αντιμετωπισθούν σύνθετα φαινόμενα. Η άποψη αυτή είναι λανθασμένη. Ο Hewitt (1983)⁸, αναφερόμενος στην εμπειρία του από τη διδασκαλία της φυσικής σε φοιτητές μη

θετικής κατεύθυνσης, αναφέρει ότι με την απόρριψη της μαθηματικής γλώσσας και την υιοθέτηση της απλής και καθημερινής μπορούμε να διδάξουμε σύνθετα φυσικά φαινόμενα με μετατόπιση του κέντρου ενδιαφέροντος στο βασικό ζητούμενο, την ποιοτική ερμηνεία.

Είναι φανερό ότι στην τριτοβάθμια εκπαίδευση ολοκληρώνεται η μετάδοση του μαθηματικού φορμαλισμού. Η ολοκλήρωση όμως της διδασκαλίας με τη φορμαλιστική αντιμετώπιση πρέπει να συνδυάζεται με παράλληλη ποιοτική κατανόηση. Είναι απαραίτητη η επίγνωση ότι ο μαθηματικός τύπος δεν είναι αυθύπαρκτος, ότι περιγράφει τη φυσική διάσταση ενός φαινομένου. Ο Weisskopf (1976)⁹ αναφέρει σχετικά: «Είναι αδύνατο να μεταδώσουμε τη φυσική αντίληψη χωρίς τη χρήση κάποιων μαθηματικών σχέσεων... Ο εκπαιδευτικός κάνοντας χρήση της μαθηματικής γλώσσας πρέπει παράλληλα να εισάγει την ποιοτική της διάσταση με την αποκάλυψη των απρόσμενων αναλογιών στη φύση. Ο μαθητής πρέπει να βλέπει και να νιώθει ότι οι ποσοτικές σχέσεις πράγματι αποκαλύπτουν ουσιαστικές συσχετίσεις στη φύση». Η μαθηματική σχέση πρέπει να έχει τη διάσταση μιας συμπύκνωσης της ποιοτικής πληροφορίας. Για να περιγράψει κανείς γεωγραφικά την Ελλάδα με λέξεις θα χρειαζόταν τόμους, ο χάρτης όμως χρησιμοποιώντας δεύτερη διάσταση συμπυκνώνει την ίδια πληροφορία σε μία μόνο σελίδα, γι' αυτό και είναι πρακτικά χρήσιμος. Η συμπύκνωση όμως σε μία σελίδα δεν είναι δυνατή χωρίς ποιοτικές αφαιρέσεις.

Τελικός στόχος των φυσικών επιστημών είναι η αντίληψη σε βάθος αλληλοσυσχετίσεων (Kranzer, 1990)¹⁰, η κατανόηση ενός συστήματος νόμων που να ερμηνεύουν συνολικά τη νομοτέλεια του φυσικού κόσμου. Με αυτήν την έννοια η ολοκλήρωση της διδασκαλίας απαιτεί τη διαπίστωση των βαθύτερων αλληλοσυσχετίσεων των φυσικών νόμων. Η αναφορά στα καθημερινά φαινόμενα του φυσικού μας περιβάλλοντος με εργαλείο τη μαθηματική λογική, στο επίπεδο αυτό, αποκαλύπτει τις συγκεκριμένες αλληλοσυσχετίσεις. Η αναζήτηση ολόενα και πιο ολοκληρωμένων απαντήσεων πρέπει να δημιουργεί στους μαθητές το κατάλληλο κίνητρο για την πλήρη διαλεύκανση των «μυστηρίων της φύσης» και τη συστηματοποίηση των απαντήσεων σ' ένα ενιαίο πλαίσιο νόμων. Τα απλά καθημερινά φαινόμενα αποδεικνύονται πολλές φορές τα πιο σύνθετα και πολύπλοκα, όταν το ζητούμενο είναι η χωρίς προσεγγίσεις και παραδοχές ερμηνεία τους (Haase 1985¹¹, Erpstein 1989¹²).

Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση αποτελεί μια ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία και συχνά δεν επιτυγχάνονται τα προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Αντίθετα, υπάρχει ένα αξιοσημείωτο ποσοστό μαθητών το οποίο όχι μόνο παρουσιάζει χαμηλές επιδόσεις αλλά το οποίο και διατηρεί μια αρνητική στάση απέναντι στα σχετικά μαθήματα. Όπως προκύπτει το βασικό στοιχείο που λείπει από την μαθησιακή διαδικασία είναι το γεγονός ότι οι μαθητές δε μαθαίνουν σε ικανοποιητικό βαθμό από τις εμπειρίες τους. Η συνεχής αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον τον οδήγησε στο να αναζητήσει ερμηνείες και απαντήσεις για τον κόσμο γύρω του. Η ίδια αυτή διαδικασία, η εγγενής δηλαδή ανάγκη του ανθρώπου να κατανοήσει τη δομή του κόσμου στον οποίο πορεύεται, αναγάγει την αναζήτηση του αυτή σε επιστήμη και θεμελιώνει την επιστημονική μέθοδο. Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών οφείλει να είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις ανθρώπινες αναζητήσεις και την προσπάθεια για ερμηνεία του κόσμου γύρω μας, ενώ ο κύριος διδακτικός στόχος των μαθημάτων του είδους πρέπει να είναι η κατανόηση και η εφαρμογή των αρχών της επιστημονικής μεθόδου. Η παρατήρηση, η διατύπωση υποθέσεων και ο πειραματικός έλεγχος, η διαμόρφωση θεωριών και η πρόταση θεματικών ενοτήτων για περαιτέρω έρευνα απαρτίζουν την αλληλουχία των αρχών της επιστημονικής μεθόδου. Φαίνεται όμως ότι στο σχολείο αυτή η διαδικασία της απόκτησης της επιστημονικής γνώσης αντιστρέφεται. Η επιστήμη παρουσιάζεται ως ένα συμπαγές σύνολο γνώσεων, το πείραμα αποτελεί την παρουσίαση του φαινομένου, ενώ στις ερωτήσεις δίδεται απάντηση πριν καν διατυπωθούν. Το παραπάνω έχει σαν αποτέλεσμα ο μαθητής να αποκτά περιορισμένη γνώση μέσω τυπικών ερωτήσεων ελέγχου, και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η «επιβεβλημένη» και ανεπαρκής γνώση, να μην εμπνέεται πραγματικά.

2.5 Στοιχεία διαμόρφωσης ενδιαφέροντος - αποτελεσματικού μαθήματος

*«...η διδασκαλία και η παρουσίαση της φυσικής είναι τελικά δυσκολότερες από την έρευνα. Η έρευνα είναι επιστημονική δραστηριότητα, η διδασκαλία και η παρουσίαση απαιτούν το συνδυασμό επιστήμης και τέχνης.»
V. Weisskopf*

Το ενδιαφέρον των μαθητών για το σχολικό μάθημα αποτελεί σημαντικό παράγοντα της διάθεσης συμμετοχής σ' αυτό (Bybee et al, 2008¹³). Η θετική στάση δημιουργεί τα κίνητρα που είναι απαραίτητα για την αντιμετώπιση των δύσκολων φάσεων της μαθησιακής πορείας. Η επίγνωση ότι η κοπιαστική προσπάθεια θα οδηγήσει στην κατανόηση ενδιαφερόντων νέων στοιχείων είναι η αποτελεσματικότερη παρώθηση για την προσπάθεια του μαθητή. «*Η επιτυχία στο συναισθηματικό τομέα προωθεί την επίτευξη των γνωστικών στόχων. Αντίστοιχα η ικανοποίηση από την επιτυχή αντιμετώπιση των γνωστικών στόχων έχει τις επιδράσεις της στο συναισθηματικό τομέα*» (Ormerod, 1987)¹⁴.

Η ανάλυση των παραμέτρων που συντελούν στη διαμόρφωση ενδιαφέροντος και αποτελεσματικού μαθήματος είναι σύνθετη και υποκειμενική. Αυτό που για ένα μαθητή είναι ενδιαφέρον δεν είναι υποχρεωτικά για όλους ενδιαφέρον. Η διαπίστωση στοιχείων που συντελούν στη βελτίωση των διδακτικών προσεγγίσεων προκύπτει από εμπειρικές έρευνες και αξιολογείται από την αποτίμηση της επιτυχίας διδακτικών παρεμβάσεων, οι οποίες επικεντρώνουν στα σχετικά στοιχεία.

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τρεις συνιστώσες οι οποίες εμφανίζονται κοινά παραδεκτές στο σύνολο της σχετικής βιβλιογραφίας (Σάββας 1996)¹⁵: ο ρόλος του εκπαιδευτικού στη διαμόρφωση της στάσης των μαθητών, ο παραλληλισμός του περιεχομένου του μαθήματος με τα ενδιαφέροντα των μαθητών και η μεγιστοποίηση της συμμετοχής των μαθητών στη διδακτική - μαθησιακή διαδικασία. Αναφορά γίνεται επίσης στις πρώιμες και εσφαλμένες αντιλήψεις, καθώς και στις τεχνικές αντιμετώπισής τους (Bybee et al, 2008, Kali and Linn, 2009¹⁶).

2.5.1 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού

Ο εκπαιδευτικός είναι ο βασικός υπεύθυνος για την εξέλιξη, την επιτυχία ή αποτυχία της διδακτικής - μαθησιακής πορείας. Η επιλογή της διδακτικής μεθοδολογίας και πρακτικής είναι δική του ευθύνη, απ' αυτόν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η εξέλιξη της στάσης των μαθητών (Σάββας, 1996). Ο ρόλος του στη σχολική πρακτική είναι σύνθετος και καθοριστικός.

Πέρα από τις προσδοκίες των μαθητών πρέπει να συνυπολογίζει και να ικανοποιεί τις προσδοκίες των γονιών, συναδέλφων, επιθεωρητών, αλλά και του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου. Στην ελληνική σχολική πραγματικότητα το εύρος των επιλογών που έχει στη διάθεσή του είναι αναντίστοιχο με την ευθύνη με την οποία είναι επιφορτισμένος. Το αναλυτικό πρόγραμμα και το βιβλίο του εκπαιδευτικού περιορίζουν τις δυνατότητες επιλογών, προδιαγράφουν αυστηρά την εξέλιξη του μαθήματος, με τρόπο τέτοιο που να είναι εφαρμόσιμη όμοια σε όλα τα σχολεία της χώρας. Κατηγοριοποιώντας τις συνιστώσες στις οποίες μπορεί να δοθεί ουσιαστική βοήθεια στον εκπαιδευτικό καταλήγει κανείς εύκολα σε δύο τομείς: το θεματικό και τον παιδαγωγικό (Bybee et al, 2008).

Αναμφισβήτητη προϋπόθεση για την επιτυχή μετάδοση ενός αντικειμένου είναι η επαρκής του γνώση, πέρα και πάνω από το απλοποιημένο επίπεδο στο οποίο καλείται να το παρουσιάσει στους μαθητές. Ο εκπαιδευτικός πρέπει να αισθάνεται την ασφάλεια ότι κατέχει ουσιαστικά το αντικείμενο που διδάσκει, ότι είναι σε θέση να απαντήσει ικανοποιητικά στις ερωτήσεις των μαθητών, απλοποιώντας τις έννοιες χωρίς όμως να αλλοιώνει τη λογική τους. Η πληρότητα της

επιστημονικής κατάρτισης δίνει στο εκπαιδευτικό την αυτοπεποίθηση που είναι απαραίτητη για τη διδασκαλία (Appleton 1995¹⁷, Johnston and Ahtee, 2006¹⁸).

Με την αναφορά στον παιδαγωγικό τομέα της κατάρτισης καλύπτεται η απαραίτητη ικανότητα του εκπαιδευτικού να προσαρμόζει τις γνώσεις του και να εξειδικεύει τη διδακτική διαδικασία με κριτήριο τις ανάγκες των μαθητών (Gunstone, 2009)¹⁹. Ανάμεσα σε κάθε διδακτική πρόταση και τους μαθητές μεσολαβεί ο εκπαιδευτικός. Αυτός θα την εφαρμόσει στην πράξη, απ' αυτόν θα κριθεί σε μεγάλο βαθμό αν τα αποτελέσματα θα είναι τα αναμενόμενα. Η καλύτερη και αποτελεσματικότερη διδακτική παρέμβαση θα είναι ανεπιτυχής, αν ο εκπαιδευτικός δεν την υλοποιήσει θετικά, αν η στάση του στην τάξη δεν επιτρέπει στους μαθητές την αξιοποίηση των θετικών της σημείων. Οι δύο βασικές συνεπώς συνιστώσες, η θεματική και η παιδαγωγική, πρέπει να ισορροπούν με τελικό στόχο τη βελτιστοποίηση του μαθήματος.

Η μετατόπιση του κέντρου βάρους του μαθήματος από τον εκπαιδευτικό στο μαθητή, η υιοθέτηση μοντέλου διδασκαλίας προσανατολισμένου στο μαθητή, προϋποθέτει την καθιέρωση σχέσης εμπιστοσύνης, που θα επιτρέψει στους μαθητές ν' αξιοποιήσουν τα περιθώρια αυτενέργειας και συμμετοχής στη μαθησιακή τους πορεία. Σήμερα ο εκπαιδευτικός εξασκεί πλήρως την εξουσία του για την ισχυροποίηση της θέσης του στην τάξη και τον καθορισμό κατά αποκλειστικότητα των παραμέτρων του μαθήματος. Η απεμπόληση της αποκλειστικής αυτής εξουσίας και ο προσανατολισμός του μαθήματος στο μαθητή μετατοπίζουν τη διδασκαλία από την αφηρημένη μετάδοση γνωστικών στοιχείων σε συναισθηματικά φορτισμένη βιωματική εμπειρία. Η εξουσία του εκπαιδευτικού στην τάξη είναι δεδομένη. Προϋπόθεση για την επιτυχία της διδασκαλίας είναι η χρήση της εξουσίας αυτής για τον καθορισμό του περιβάλλοντος εμπιστοσύνης, το συντονισμό της ομάδας στη δημιουργική συνεργασία μέσα από κανόνες που εξασφαλίζουν την ελευθερία έκφρασης, το σεβασμό και την αλληλοεκτίμηση των μελών της, την καθιέρωση ενός κλίματος συναισθηματικής ζεστασιάς, όπου ο μαθητής χωρίς το φόβο του χλευασμού και της απόρριψης νιώθει την ασφάλεια να διατυπώσει την άποψή του ακόμη και αν αυτή είναι λανθασμένη, ενός περιβάλλοντος ασφάλειας στο οποίο ο εκπαιδευτικός έχει το ρόλο του συμβούλου που βοηθά τους μαθητές στην πραγματοποίηση αυτόνομων μαθησιακών δραστηριοτήτων. Είναι προφανές ότι η καθιέρωση της σχέσης αυτής δεν είναι δυνατό να γίνει αναγκαστικά ούτε μπορεί να προδιαγραφεί στο βιβλίο για τον εκπαιδευτικό με «συνταγές συμπεριφοράς». Αν ο εκπαιδευτικός δεν αποδέχεται συνειδητά την ανάγκη καθιέρωσής της, δεν είναι δυνατή η επιτυχία. Αναμφίβολα η προσωπικότητά του και η παιδαγωγική του στάση απέναντι στους μαθητές αντανακλώνται στο επίπεδο της σχέσης μεταξύ των μελών της τάξης. Η σχέση αυτή καθορίζεται από τη δυναμική αλληλεξάρτηση των κοινωνικών και ψυχολογικών παραμέτρων που επιδρούν στη διδακτική διαδικασία και διαμορφώνουν την ποιότητα της επικοινωνίας. Η σημασία που προσδίδουν οι μαθητές στο εκπαιδευτικό για τη διαμόρφωση της στάσης τους δίνει το στίγμα της σημαντικότητας του ρόλου του. Πέρα και πάνω από τη διδακτέα ύλη πρέπει να είναι σαφές ότι η διδακτική διαδικασία βασίζεται σε σχέση ανθρώπινη, τη σχέση του εκπαιδευτικού με τους μαθητές, των οποίων οι παιδαγωγικές και εκπαιδευτικές ανάγκες έχουν προτεραιότητα σε σχέση με τις επιταγές του αναλυτικού προγράμματος για την εξέλιξη της ύλης. Το πλέγμα της σχέσης των μαθητών με τον εκπαιδευτικό αλλά και των μαθητών μεταξύ τους είναι καθοριστικό για την επιτυχία κάθε διδακτικής προσπάθειας.

2.5.2 Παραλληλισμός του περιεχομένου του μαθήματος με τα ενδιαφέροντα των μαθητών

Ο προσανατολισμός του μαθήματος στα ενδιαφέροντα των μαθητών προϋποθέτει τον εντοπισμό του μαθητικού ενδιαφέροντος για κάθε θεματικό πεδίο. Οι σχετικές έρευνες (Aikenhead, 2005²⁰, Jenkins and Pell, 2006²¹, Lyons, 2006²², ROSE, 2004²³) αναφέρονται στην ανάγκη επιλογής του περιεχομένου σε αναφορά με τον καθημερινό φυσικό περίγυρο και τα αντίστοιχα φαινόμενα, καθώς και σε αναφορά με τις τεχνολογικές εφαρμογές. Η διαφοροποίηση του ενδιαφέροντος αγοριών και κοριτσιών (Zohar and Sela, 2003²⁴), με τους μαθητές να προτιμούν τις τεχνολογικές εφαρμογές και τις μαθήτριες τα καθημερινά φυσικά φαινόμενα, φαίνεται να δημιουργεί δίλημμα

για τις προτεραιότητες του μαθήματος. Το δίλημμα είναι πλασματικό. Αν προσπαθήσουμε να οριοθετήσουμε την τεχνολογία, τουλάχιστον στο επίπεδο που οι φυσικές αρχές που διδάσκονται στις δυο πρώτες βαθμίδες βρίσκουν εφαρμογή, θα δούμε ότι σε μεγάλο βαθμό τεχνολογία και καθημερινός περίγυρος ταυτίζονται. Γιατί ο διακόπτης του οικιακού φωτισμού, το ηλεκτρικό σίδερο, ο ηλιακός θερμοσίφωνας, ο καρυοθραύστης, η τραμπάλα, το πόμολο της πόρτας, τα κιάλια, τα μηχανήματα αναπαραγωγής του ήχου, ενώ αποτελούν τεχνολογικές εφαρμογές, ανήκουν χωρίς αμφιβολία στο πεδίο της καθημερινής ενασχόλησης των μαθητών.

Η προσπάθεια προσανατολισμού του μαθήματος στα ενδιαφέροντα των μαθητών δε σημαίνει ότι μπορεί να ανατραπεί η αλληλουχία της εξέλιξης της ύλης. Με δεδομένη την εξέλιξη της ύλης ο παραλληλισμός του μαθήματος στα ενδιαφέροντα των μαθητών είναι εφικτός με συχνές και συνεχείς αναφορές του περιεχομένου του μαθήματος στα αντίστοιχα φαινόμενα του καθημερινού περιγύρου και στις αντίστοιχες τεχνολογικές εφαρμογές. Η επίγνωση των μαθητών ότι ο στόχος του μαθήματος δεν είναι αφηρημένος αλλά συγκεκριμενοποιείται εξαρχής στην προσπάθεια κατανόησης και ερμηνευτικής προσέγγισης ενός φαινομένου ή μιας τεχνολογικής εφαρμογής δημιουργεί σημαντικά θετικά κίνητρα για συμμετοχή στη μαθησιακή πορεία (Todt, 1993²⁵).

Η δομή του σχολικού μαθήματος θα έπρεπε να επιτρέπει σε κάθε εκπαιδευτικό να ανιχνεύει τα συγκεκριμένα ενδιαφέροντα των μαθητών στους οποίους διδάσκει και να προσαρμόζει ανάλογα το μάθημα, αντλώντας παραδείγματα και εφαρμογές από το πεδίο των ειδικών τους ενδιαφερόντων. Σε περιορισμένο βαθμό η δυνατότητα προσαρμογής του μαθήματος στα ενδιαφέροντα των μαθητών είναι εφικτή στα πλαίσια της προτεινόμενης προσέγγισης. Η έμφαση πρέπει να δίνεται στην ποιότητα του μαθήματος, στη συνεπή εφαρμογή της ερευνητικής μεθοδολογίας και όχι στην έκταση της ύλης που θα διδαχθεί.

2.5.3 Μεγιστοποίηση της συμμετοχής των μαθητών στη μαθησιακή πορεία

Η ενεργός συμμετοχή των μαθητών στην εξέλιξη του μαθήματος αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως σημαντικό στοιχείο αναβάθμισης του ενδιαφέροντος και παρώθησης για το μάθημα (Anderson, 2002²⁶, Hounsell and McCune, 2003²⁷, Handelsman, 2004²⁸, Science, 2009, Todt 1993). Σε αντίθεση με τη δεκτική ακρόαση διαλέξεων του εκπαιδευτικού ή την ανάγνωση κειμένων του βιβλίου, η παραγωγική δραστηριοποίηση μέσα από ενεργητικές πρωτοβουλίες εγγυάται πέρα από το αυξημένο ενδιαφέρον την καλύτερη αφομοίωση, αφού το γνωστικό υλικό αποκτά βιωματική διάσταση.

Αν για κάποια μαθήματα η εξασφάλιση της συμμετοχής των μαθητών είναι δύσκολη, οπότε η μετωπική, θεωρητική μετάδοση του περιεχομένου του μαθήματος είναι αναγκαία και κατά συνέπεια η παθητική στάση των μαθητών μπορεί να δικαιολογηθεί, στις φυσικές επιστήμες η αντίστοιχη πρακτική είναι αδικαιολόγητη. Σε κανένα άλλο σχολικό μάθημα η συμμετοχή των μαθητών δεν είναι τόσο εύκολα προσεγγίσιμη όσο στις φυσικές επιστήμες, των οποίων η ίδια η δομή επιβάλλει την ενεργητική δραστηριότητα των μαθητών. Η συμμετοχή των μαθητών σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να περιορίζεται στην εκτέλεση πειραμάτων. Η προσέγγιση της επιστημονικής μεθοδολογίας καθιστά αναγκαία την ευρύτερη δραστηριοποίηση των μαθητών μέσα και έξω από τη σχολική αίθουσα. Η συστηματική παρατήρηση του περιβάλλοντος κόσμου, η διατύπωση υπόθεσης, η αξιολόγηση των συμπερασμάτων αποτελούν πεδία στα οποία η παραγωγική συμμετοχή των μαθητών είναι απαραίτητη. Ερευνητικές εργασίες (Leach and Scott, 2008²⁹, Meheut and Psillos, 2004³⁰, TIMSS³¹, PISA) σχετικές με την αξιολόγηση διδακτικών παρεμβάσεων που βασίζονται στην αύξηση της μαθητικής συμμετοχής επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα σχετικά με την προτίμηση και θετική αντιμετώπιση που δείχνουν οι μαθητές στις ενεργητικές δραστηριότητες. Οι μικρότερης ή ευρύτερης κλίμακας αυτές παρεμβάσεις φέρουν διάφορους τίτλους, όπως διδασκαλία με βάση τη δραστηριότητα (activity based), διδασκαλία με βάση τη διαδικασία (process oriented), συμμετοχική επιστήμη (hands on science), και αναφέρονται στη βασική ιδέα της όσο το δυνατόν ευρύτερης συμμετοχής του μαθητή στη μαθησιακή πορεία. Πέρα από τη θετικοποίηση της στάσης των μαθητών στις παρεμβάσεις αυτές

διαπιστώνονται πλεονεκτήματα στο γνωστικό τομέα, στην καλλιέργεια πρακτικών δεξιοτήτων και στη μείωση της απόκλισης της επίδοσης μαθητών και μαθητριών.

2.5.4 Αντιμετώπιση των πρώιμων και εσφαλμένων αντιλήψεων

Σε σχέση με την αποτελεσματικότητα του μαθήματος στην εδραίωση των «νέων» γνωστικών στοιχείων, κυρίαρχο πεδίο έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες έχει αποτελέσει η μελέτη της διαδικασίας αφομοίωσης των εννοιών της φυσικής από τους μαθητές. Όροι όπως «alternative conceptions», «alternative frameworks», «mental representations», «children's science», «commonsense knowledge», «schemes of thought», «misconceptions», «private science» (Guidoni 1985)³² έχουν τιτλοφορήσει κατά καιρούς την ίδια ιδέα, ότι δηλαδή οι μαθητές δεν έρχονται στο μάθημα των φυσικών επιστημών χωρίς άποψη για τα φαινόμενα που θα μελετηθούν.

Κάθε παιδί, αλληλεπιδρώντας με τα φαινόμενα γύρω του, προσπαθεί να τα ερμηνεύσει, να ικανοποιήσει αυτόνομα τις απορίες που αυτά προκαλούν. Όταν, για παράδειγμα, εντυπωσιάζεται από το μαγνήτη που έλκει το σίδηρο αλλά όχι το ξύλο, είναι λογικό να δημιουργεί απλοϊκές εξηγήσεις και να μην περιμένει μέχρι εμείς να αποφασίσουμε ότι ήρθε η ώρα να λάβει τεκμηριωμένη απάντηση στα πλαίσια κάποιου σχολικού μαθήματος. Πολύ περισσότερο, η απορία κάθε παιδιού δε συμπίπτει χρονικά μ' αυτές των υπολοίπων. Οι ερμηνείες των παιδιών βασίζονται πολλές φορές στην κοινή λογική, εκφράζουν απλοϊκές πεποιθήσεις, στηρίζονται στην αυθόρμητη παρατήρηση του καθημερινού περιγύρου και είναι σύμφωνες με το γνωστικό τους επίπεδο και την εκφραστική τους ικανότητα. Δεν αποτελούν ενιαίο σύστημα κανόνων ικανό να εξηγήσει συνολικά το φυσικό περιβάλλον, καλύπτουν μεμονωμένα φαινόμενα και μπορεί να είναι αντιφατικές μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό τους δεν είναι η αυστηρή οριοθέτηση, όπως αυτή της φυσικής νομοτέλειας, παρά η έντονη συναισθηματική τους βαρύτητα, αφού αποτελούν προσωπικό δημιούργημα κάθε μαθητή. Διαφορετικές ονομασίες έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί για τις αντιλήψεις αυτές των μαθητών, επικρατέστερος είναι ο όρος «preconcept» (Nachtigall, 1990)³³. Η ελληνική απόδοση «πρώιμες αντιλήψεις» προσεγγίζει τον όρο, παρότι το «concept» είναι γενικότερο από την αντίληψη, εκφράζει ένα σύνολο απόψεων και στάσεων με ενεργητική διάσταση, ένα ενιαίο πλαίσιο αντιμετώπισης του φαινομένου.

Κατά τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, ακόμη και στην εισαγωγική βαθμίδα, οι μαθητές δεν αποτελούν «άγραφους πίνακες», «κενά δοχεία» (Nachtigall 1992)³⁴, στους οποίους θα προσφέρουμε για πρώτη φορά τη φυσική ερμηνεία του κόσμου, αλλά είναι εφοδιασμένοι με τις πρώιμες αντιλήψεις τους για τα φυσικά φαινόμενα. Ο ατομικός - προσωπικός χαρακτήρας των πρώιμων αντιλήψεων συνεπάγεται ότι ο εκπαιδευτικός στην τάξη μπορεί να έχει ν' αντιμετωπίσει πολλές διαφορετικές αντιλήψεις για την ερμηνεία του ίδιου φαινομένου. Οι αντιλήψεις μπορεί να είναι απλοϊκές, για το παιδί όμως που τις ανέπτυξε αποτέλεσαν χρήσιμο, επιτυχές και επαρκές εργαλείο για την ικανοποίηση της γνωστικής του ανησυχίας, συνεπώς έχουν έντονα συναισθηματική διάσταση, είναι ισχυρά εδραιωμένες και συνδεδεμένες με το συγκεκριμένο φαινόμενο. Τα χαρακτηριστικά τους σε σχέση με τη φυσική νομοτέλεια είναι (Nachtigall 1986)³⁵:

- αναπτύσσονται από την εγωκεντρική σκοπιά κάθε παιδιού
- εξυπηρετούν την ερμηνεία στενά οριοθετημένων, μεμονωμένων φαινομένων, δεν είναι λογικά συμφυείς, ούτε χωρίς αντιφάσεις
- μερικά φαινόμενα της καθημερινής ζωής καλύπτονται με μία, άλλα με καμία και άλλα με περισσότερες πρώιμες αντιλήψεις
- η ανάπτυξη των γλωσσικών δεξιοτήτων με την ηλικία μπορεί να οδηγήσει στη διαφοροποίησή τους (αφού στηρίζονται στην κοινή γλώσσα που κατέχει το παιδί), με αποτέλεσμα η απόκλιση τους από τη φυσική ερμηνεία να διαφοροποιείται
- το εύρος των πρώιμων αντιλήψεων των μαθητών σε ένα συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Μπορεί να έχουν διαμορφωθεί με θρησκευτικές, τελεολογικές, ορθολογικές ή μαγικές - ανιμιστικές επιδράσεις.

Όταν οι μαθητές παρατηρούν ένα πείραμα, προσπαθούν πρώτα να ερμηνεύσουν την παρατήρησή τους. Αυτή η προσπάθεια ερμηνευτικής προσέγγισης βασίζεται αναγκαστικά στις έννοιες και αντιλήψεις που προϋπάρχουν. Γι' αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό να έχει ο εκπαιδευτικός επίγνωση των πρώιμων αντιλήψεων των μαθητών (Monk & Osborne 2000³⁶, Vosniadou, 2001³⁷).

Η διαδικασία αυτή της εξέλιξης, προσαρμογής ή και εγκατάλειψης της πρώιμης αντίληψης και της αποδοχής της ορθολογικής φυσικής αντίληψης δε γίνεται χωρίς αντιστάσεις (Strike & Posner 1992³⁸, Vosniadou, 2001). Τα όσα διδάσκουμε στο σχολείο δε γίνονται πάντα εύκολα αποδεκτά από τους μαθητές, γιατί πολλές φορές αντιφάσκουν με αυτό που οι μαθητές αντιλαμβάνονται ως «φυσικό» σύστημα παρατήρησης του κόσμου. Η αναγκαιότητα εξέλιξης, δόμησης της γνώσης με βάση τις υπάρχουσες αντιλήψεις διατυπώνεται με ιδιαίτερη έμφαση στη θεωρία του κονστρουκτιβισμού. Οι μαθητές κατασκευάζουν (construct) τη γνώση με βάση τις προεμπειρίες τους, συνεπώς η πορεία αυτή είναι για κάθε μαθητή διαφορετική (Monk & Osborne 2000). Η απόκλιση της πρώιμης αντίληψης από την ορθή άποψη και ερμηνεία εξηγεί σε μεγάλο βαθμό τη δυσκολία της αφομοίωσης των εννοιών των φυσικών επιστημών (Duit 2004³⁹, Duit & Treagust, 2003⁴⁰).

Η αγνόηση της ύπαρξης των πρώιμων αντιλήψεων, η απόρριψή τους από τον εκπαιδευτικό ως απλά μια ακόμη λανθασμένη εκδοχή για το φυσικό φαινόμενο που μελετάται στην τάξη εγκυμονεί τον κίνδυνο της δημιουργίας «εσφαλμένων αντιλήψεων» (misconceptions). Η εσφαλμένη αντίληψη δεν είναι απλά μια ακόμη λανθασμένη αντίληψη, είναι η διατήρηση της προαντιληπτικής σκέψης με μορφή όμως και φρασεολόγιο που πηγάζει από - και προσεγγίζει το - μάθημα των φυσικών επιστημών, αποτελεί δηλαδή μια νέα πιο «επιστημονικοφανή» έκφραση της ίδιας πρώιμης αντίληψης (Vosniadou, 2001). Ο μαθητής δεν απορρίπτει την πρώιμη αντίληψη με την οποία συναισθηματικά είναι συνδεδεμένος, μόνο επειδή ο εκπαιδευτικός το επιτάσσει (Nachtigall 1991)⁴¹. Η προσαρμογή και απόρριψή της, όταν αυτό είναι αναγκαίο, μπορεί να προκληθεί μόνο μετά από έντονη γνωστική σύγκρουση, μόνο δηλαδή αφού ο μαθητής πειστεί αυτόνομα για την ανεπάρκειά της (Strike & Posner, 1992). Η αγνόηση από το εκπαιδευτικό της ύπαρξής της, ως βάσης πάνω στην οποία με μετατροπές και προσαρμογές θα δομηθεί η ορθολογιστική «φυσική» αντίληψη, οδηγεί το μαθητή στο διαχωρισμό μαθήματος και πραγματικότητας (Nachtigall 1991). Παίζει το «παιχνίδι» του σχολείου, αποστηθίζει, επιτυγχάνει στα διαγωνίσματα γνωστικής αποτύπωσης και στην απόκτηση του προαγώγιμου βαθμού, διατηρεί όμως την προαντιληπτική βάση σκέψης, εκφράζοντάς την με ορολογία και επιχειρήματα από το μάθημα της φυσικής. Μ' αυτόν τον τρόπο οι πρώιμες αντιλήψεις εξελίσσονται σε εσφαλμένες αντιλήψεις (Duit & Treagust, 2003).

Η «χαρτογράφηση» των πρώιμων και εσφαλμένων αντιλήψεων σε πολλούς τομείς των φυσικών επιστημών έχει συστηματικά μελετηθεί τις τελευταίες δεκαετίες (Jung 1981⁴², Nachtigall 1982⁴³, Duit, 1986⁴⁴, Nachtigall, 1986, Wiesner, 1986⁴⁵, Nachtigall, 1987⁴⁶, Boyle and Maloney, 1991⁴⁷, Duit 1993⁴⁸, Mohapatra 1995⁴⁹, Vosniadou, 2001, Duit & Treagust, 2003). Η σχετική έρευνα έχει στόχο την καταγραφή των πρώιμων αντιλήψεων σε συνδυασμό με τη συνήθη εξέλιξή τους σε αντίστοιχες εσφαλμένες, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σχεδίαση διδακτικής πορείας που βοηθά στην αποφυγή δημιουργίας των εσφαλμένων αντιλήψεων (Ravanis et al. 2004⁵⁰). Η έκταση του προβλήματος (π.χ. της εδραίωσης αριστοτελικών αντιλήψεων) δείχνει ότι παρά τη συστηματική έρευνα η εφαρμογή στην πράξη δεν υπήρξε αποτελεσματική. Πολλές φορές οι εσφαλμένες αντιλήψεις είναι τόσο ευρέως εδραιωμένες, που αναπαράγονται και έξω από το σχολείο. Η σύγκυση βάρους και μάζας, η αναφορά στη θερμίδα αντί στη χιλιοθερμίδα (π.χ. αναψυκτικό light έχει ενέργεια 1 θερμίδα!), η σύγκυση της δύναμης με το έργο και την ενέργεια αποτελούν μερικά μόνο παραδείγματα ευρέως εδραιωμένων εσφαλμένων αντιλήψεων. Κατά τον Nachtigall (1991) κείμενα σε βιβλία εκλαϊκευμένης επιστήμης, διατυπώσεις στα σχολικά βιβλία, εκπομπές των Μ.Μ.Ε., η αποσπασματικότητα της γνώσης στις φυσικές επιστήμες και οι ανεπίτρεπτες γενικεύσεις και απλοποιήσεις είναι οι κύριες αιτίες δημιουργίας εσφαλμένων αντιλήψεων. Στα επιμέρους κεφάλαια στο βιβλίο αυτό αναφέρονται οι πιο γνωστές πρώιμες αντιλήψεις των μαθητών που σχετίζονται με τη θεματική κάθε κεφαλαίου.

Βασική προϋπόθεση αντιμετώπισης της εξέλιξης των πρώιμων αντιλήψεων σε εσφαλμένες είναι η επίγνωση του εκπαιδευτικού ότι οφείλει να στηρίζει τη διδασκαλία του στις υπάρχουσες νοητικές δομές, πρέπει συνεπώς να ανιχνεύει και να καταγράφει τις πρώιμες αντιλήψεις και να οδηγεί τους μαθητές στην αυτόνομη προσαρμογή, επέκταση ή και απόρριψή τους, όταν είναι απαραίτητο. Οι στρατηγικές εξέλιξης των αντιλήψεων των μαθητών (Nachtigall 1991, Duit 1993, Vosniadou 2001, Duit & Treagust 2003) μπορούν να αξιοποιηθούν σε διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις. Ενδιαφέρον είναι ότι τα βασικά σημεία των στρατηγικών αυτών εντοπίζουν τα ίδια διδακτικά στοιχεία στα οποία επικεντρώνουν και οι έρευνες για την αναβάθμιση του ενδιαφέροντος των μαθητών για το μάθημα: α) την αναφορά του μαθήματος στον καθημερινό περίγυρο, β) την όσο το δυνατόν ευρύτερη συμμετοχή του μαθητή στη μαθησιακή πορεία και γ) το κατάλληλο κλίμα διδασκαλίας, την ποιότητα της σχέσης εκπαιδευτικού - μαθητών, την «ατμόσφαιρα» ασφάλειας και εμπιστοσύνης, που επιτρέπει τη διατύπωση, καταγραφή και εξέλιξη των πρώιμων αντιλήψεων σε ορθή φυσική γνώση.

Οι πρώιμες αντιλήψεις σχηματίζονται σε αναφορά με οικεία, καθημερινά φαινόμενα. Άρα στο ίδιο επίπεδο πρέπει να επιδιωχθεί η εξέλιξή τους σε ορθή φυσική αντίληψη. Η αφηρηματοποίηση του μαθήματος και ο προσανατολισμός του σε φαινόμενα που δεν είναι σε άμεση συσχέτιση με το καθημερινό περιβάλλον εγκυμονούν τον κίνδυνο να διακρίνει ο μαθητής δυο πεδία. Να διατηρήσει την πρώιμη αντίληψή του για τα καθημερινά φαινόμενα, θεωρώντας ότι το μάθημα του σχολείου εξηγεί ικανοποιητικά τα φαινόμενα που μελετώνται στο σχολείο και τα οποία δε συνδέονται υποχρεωτικά με τα καθημερινά και οικεία.

Οι πρώιμες αντιλήψεις αποτελούν δομές με ισχυρή συναισθηματική φόρτιση και βαρύτητα. Η δημιουργία τους έχει γίνει αυτόνομα από το μαθητή. Άρα και η εξέλιξή τους είναι δυνατή, μόνο αν γίνει και αυτή από το μαθητή αυτόνομα και η ορθολογική άποψη αποκτήσει ανάλογη συναισθηματική - βιωματική διάσταση. Είναι πιο εύκολο να αντικαταστήσει ο μαθητής την «παλιότερη» δική του αντίληψη με μια πλήρη «νέα» δική του αντίληψη παρά με αυτήν που του επιβάλλεται από τρίτους. Προϋπόθεση επιτυχίας είναι συνεπώς η μεγιστοποίηση της ενεργητικής συμμετοχής του στη μαθησιακή πορεία. Η ανίχνευση και καταγραφή των πρώιμων αντιλήψεων προϋποθέτει το κλίμα ελευθερίας που επιτρέπει στο μαθητή τη διατύπωσή τους χωρίς το φόβο του χλευασμού (Duit 1993, 1999). Με την έννοια αυτή και εδώ επιβεβαιώνεται ο καθοριστικός ρόλος του εκπαιδευτικού, αφού δική του ευθύνη είναι η επιτυχής καθιέρωση του κατάλληλου κλίματος.

2.6 Μεθόδευση της διδακτικής πορείας

«Μικρότερο κακό είναι η αγραμματοσύνη, παρά η κακή και χωρίς μέθοδο εκπαίδευση. Είναι βέβαιο πως ανάμεσα στους αγράμματους ευκολότερα βρίσκει κανένας άνθρωπο ενάρετο παρά ανάμεσα σε κείνους που εκπαιδεύτηκαν χωρίς σωστή μέθοδο.»
A. Κοραΐς

Το εισαγωγικό απόσπασμα του Κοραΐ ηχεί προκλητικά ακραίο, περιγράφει ωστόσο μια σημαντική διαπίστωση σχετικά με την εκπαιδευτική διαδικασία. Η χωρίς μεθόδευση εκπαίδευση οδηγεί στην αποσπασματικότητα και την ημιμάθεια και δημιουργεί έμφαση στις σχέσεις εκπαιδευτικού - μαθητών, αφού η παροχή μορφωτικών αγαθών στερείται γενικά τουλάχιστον οριοθετημένων κανόνων, που θα επιτρέψουν στο μαθητή την ένταξη των παιδευτικών στοιχείων σε συστηματικά οργανωμένο πλαίσιο γνώσεων και δεξιοτήτων. Η έννοια της μεθόδευσης είναι πολύ γενική. Στην ευρύτερη εκδοχή της περιλαμβάνει τον καθορισμό του αντικειμένου και το πλαίσιο των στόχων του μαθήματος, καθώς και τη μορφή οργάνωσης της διδακτικής πορείας (μάθημα στην τάξη, ομάδες εργασίας, διαθεματικό μάθημα...). Η μεθόδευση της διδασκαλίας διέπεται από γενικές αρχές, που εξειδικεύονται όμως ανάλογα με το μάθημα, το επίπεδο των μαθητών και τις κρατούσες παραμέτρους.

Η διδασκαλία πρέπει να οργανώνεται σε διαδοχικά στάδια, καθένα από τα οποία επιτελεί συγκεκριμένη λειτουργία και εξασφαλίζει τις προϋποθέσεις για το επόμενο. Η ακολουθία των σταδίων, που αναφέρονται συχνά και ως φάσεις της διδασκαλίας (Anderson, 2001)⁵¹, καθώς και το περιεχόμενο του καθενός, σχηματοποιούν τη μεθοδική πορεία του μαθήματος, η οποία πρέπει να είναι σαφής και ξεκάθαρη και να εγγυάται την ομαλή εξέλιξη της μαθησιακής πορείας. Ο σχεδιασμός των σταδίων είναι σε συνάρτηση με το αντικείμενο του μαθήματος, το επίπεδο των μαθητών, καθώς και τα διαθέσιμα εποπτικά και άλλα μέσα.

Η οργάνωση του μαθήματος σε στάδια βοηθά στη μεθοδευμένη εξέλιξη, δεν πρέπει όμως να λειτουργεί καταπιεστικά. Δεν είναι π.χ. δυνατό να οριοθετηθεί αυστηρά η χρονική διάρκεια κάθε σταδίου, καθώς ενδεχόμενες γόνιμες παρεμβάσεις των μαθητών μπορεί να προκαλέσουν αποκλίσεις που δε θα επιτρέψουν την ολοκλήρωση των φάσεων σε μια συγκεκριμένη διδακτική ώρα. Ο εκπαιδευτικός αξιολογώντας κάθε πρόταση αποφασίζει την απόκλιση από το προσχεδιασμένο μάθημα, προσαρμόζοντας και συμπληρώνοντας τη σχεδίαση. Αν είναι απαραίτητο, κάποιο στάδιο μπορεί να ολοκληρωθεί στην επόμενη διδακτική ώρα. Σημαντικό ωστόσο είναι να τηρείται η αλληλουχία των σταδίων, όσο κι αν η χρονική διάρκεια καθενός μπορεί να είναι διαφορετική από την προσχεδιασμένη. Η ακριβής ανάλυση σε συγκεκριμένα στάδια πρέπει να είναι σε συνάρτηση με το διδακτικό μοντέλο. Διαφορετική ανάλυση απαιτείται για παράδειγμα για τη μετωπική διδασκαλία, ενώ άλλη για τα ερευνητικά μοντέλα διδασκαλίας.

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τρία γενικά στάδια, τα οποία καλύπτουν το μεγαλύτερο εύρος διδακτικών μοντέλων. Στην παράγραφο 2.6.2 παρουσιάζεται ειδικότερα η ανάλυση των διδακτικών σταδίων για το ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο διδασκαλίας, στο οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη προσέγγιση.

2.6.1 Στάδιο της δημιουργίας κινήτρων

Η επιδίωξη της δημιουργίας κινήτρων αναφέρεται στον αγγλικό όρο «motivation». Ο Pintrich (2003)⁵² χρησιμοποιεί τον όρο «παρώθηση» για την απόδοση στα ελληνικά. Η καλλιέργεια κινήτρων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη μάθηση.

«Η τεράστια οικονομική επένδυση για την κατασκευή, οργάνωση και τον εξοπλισμό των σχολείων, καθώς και η άσκηση της πλήρους εξουσίας του κράτους, εξασφαλίζουν τη φυσική παρουσία των μαθητών στο σχολείο. Όλα αυτά όμως είναι άσκοπα, αν οι μαθητές δε θέλουν να μάθουν» (Slavin 1986)⁵³. Για τη δημιουργία κινήτρων ή αλλιώς την αφύπνιση του ενδιαφέροντος (Duit 1993) υπάρχουν διάφορες θεωρίες και απόψεις (Stone, 1982⁵⁴, Slavin, 1986, Woolfolk, 1987⁵⁵). Σύμφωνα με τη γνωστική ψυχολογία «ο άνθρωπος έχει έμφυτη βασική ανάγκη να κατανοήσει το περιβάλλον, να είναι ικανός, ενεργός και αποτελεσματικός στην αντιμετώπιση του κόσμου» (Woolfolk 1987).

Όταν συνεπώς συνειδητοποιηθεί αδυναμία ένταξης ενός φαινομένου στο πλαίσιο ερμηνείας που έχει σχηματιστεί, προκαλείται ένταση και ανησυχία, που οδηγεί στην προσπάθεια προσαρμογής, ώστε να καλυφθεί και η νέα εμπειρία (Slavin 1986). Η δυσαρμονία αυτή καλείται «γνωστική σύγκρουση». Η πρόκληση της γνωστικής σύγκρουσης δημιουργεί την «ανησυχία», το εσωτερικό κίνητρο για την προσπάθεια ερμηνευτικής αντιμετώπισης του νέου φαινομένου.

Ο Αμερικανός ψυχολόγος Berlyne αναφέρει ορισμένους σημαντικούς τρόπους πρόκλησης αυτής της γνωστικής σύγκρουσης στην τάξη (Duit 1993, Bleichroth 1991):

- την πρόκληση έκπληξης, την ασυμφωνία μεταξύ του αναμενόμενου και της εμπειρίας (π.χ. βάζοντας ένα φύλλο χαρτί επάνω από ένα ποτήρι γεμάτο νερό και γυρίζοντάς το ανάποδα, το νερό δε χύνεται, ενώ ο μαθητής ανέμενε ότι θα χυθεί)

- την πρόκληση αμφιβολίας, την ασυμφωνία μεταξύ της παρατήρησης και των υπάρχουσών εμπειριών (π.χ. ψύχοντας ένα κλειστό δοχείο με ζεστό νερό προκαλούμε βρασμό, σε αντίθεση με την «εμπειρική γνώση» ότι ο βρασμός προκαλείται με τη θέρμανση)
- την πρόκληση αβεβαιότητας, όταν πολλές λύσεις φαίνονται δυνατές (π.χ. σωματιδιακή και κυματική φύση του φωτός).
- την πρόκληση αντίφασης, όταν οι διαφορετικές απαιτήσεις σ' ένα πρόβλημα παρουσιάζουν αντιθέσεις (π.χ. ένα αεροπλάνο πρέπει να είναι ελαφρύ αλλά ταυτόχρονα σταθερό. Πώς πρέπει να κατασκευαστεί;).

Οι παραπάνω τρόποι είναι ενδεικτικοί και όχι περιοριστικοί. Ο εκπαιδευτικός ανάλογα με τις εμπειρίες και το επίπεδο των μαθητών μπορεί να χρησιμοποιήσει άλλους τρόπους για την πρόκληση της γνωστικής σύγκρουσης.

Το μάθημα των φυσικών επιστημών προσφέρει πλήθος δυνατοτήτων για την εισαγωγή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί εισαγωγικό πείραμα, παρατήρηση φυσικού φαινομένου, τεχνολογική εφαρμογή, ιστορικό παράδειγμα, παρουσίαση με οπτικοακουστικά μέσα, συζήτηση επίκαιρου προβλήματος με στοιχεία π.χ. από τον Τύπο...

Η εισαγωγή, παράλληλα με την ανάδειξη ενδιαφέροντος, αποσκοπεί στον εντοπισμό του προβλήματος και τη σαφή του οριοθέτηση. Αφού δημιουργηθεί έκπληξη, αμφιβολία, αβεβαιότητα κ.τ.λ., πρέπει το πρόβλημα να διατυπωθεί με ακρίβεια, ώστε να αποτελέσει το σαφές προς επίλυση ερώτημα της επόμενης φάσης. Με συζήτηση, για παράδειγμα, στην τάξη και ταυτόχρονη καταγραφή στον πίνακα μπορεί το προς αντιμετώπιση «πρόβλημα» να εντοπιστεί και να διατυπωθεί, ώστε να είναι σαφές στο σύνολο των μαθητών.

2.6.2 Στάδιο της επεξεργασίας

Το βασικό στάδιο της διδασκαλίας διαφοροποιείται σημαντικά στην οργάνωσή του ανάλογα με τη διδακτική μεθοδολογία που υιοθετείται. Όταν επιλέγεται η πειραματική διδασκαλία, η φάση αυτή ξεκινά με την αναζήτηση δυνατών λύσεων, τις οποίες μπορεί να προτείνουν οι μαθητές αυτόνομα, να προκύψουν από συζήτηση ή να οριστούν από το εκπαιδευτικό. Οι λύσεις αυτές έχουν προσωρινό, υποθετικό χαρακτήρα, η ορθότητά τους συνεπώς πρέπει να επιβεβαιωθεί. Κεντρική θέση εδώ έχει το πείραμα. Στη φάση αυτή θα σχεδιαστεί και θα πραγματοποιηθεί πείραμα ή πειράματα για τον έλεγχο της υπόθεσης από το εκπαιδευτικό ή τους μαθητές. Η παρατήρηση και το συμπέρασμα οδηγούν στην επιβεβαίωση της υπόθεσης. Η εξέλιξη του μαθήματος και εδώ διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το επιλεγόμενο διδακτικό μοντέλο. Στη μετωπική διδασκαλία ο εκπαιδευτικός θα παρουσιάσει και θα εκτελέσει το πείραμα καθοδηγώντας τους μαθητές στην προσχεδιασμένη επιβεβαίωση της λύσης που έχει περιγράψει, ενώ, όταν η διδασκαλία προσανατολίζεται στους μαθητές, ο ρόλος του εκπαιδευτικού περιορίζεται στο συντονισμό της δικής τους λιγότερο ή περισσότερο αυτόνομης εργασίας. Η φάση αυτή ολοκληρώνεται με την αναδρομή στις υποθέσεις που διατύπωσαν οι μαθητές στην αρχή του μαθήματος, τη διαπίστωση των ορίων ισχύος των νέων δεδομένων, καθώς και των δυνατοτήτων εφαρμογής των νέων στοιχείων.

2.6.3 Στάδιο της εμβάθυνσης

Στο τελευταίο στάδιο της διδασκαλίας επιδιώκεται η εμπέδωση και η γενίκευση των νέων δεδομένων και η συστηματοποίηση της ικανότητας εφαρμογής των νέων γνώσεων σε παρεμφερή προβλήματα (transfer). Η εμπέδωση επιτυγχάνεται με επαναλήψεις, που μπορεί να είναι προφορικές ή να έχουν τη μορφή ασκήσεων για το σπίτι. Ο Σάββας (1996) αναφέρει μεταξύ άλλων τις παρακάτω δυνατότητες:

- σχεδιασμό στον πίνακα της πορείας που ακολουθήθηκε στο μάθημα, στον οποίο να περιλαμβάνεται η διατύπωση του προβλήματος που μελετήθηκε, η πειραματική αντιμετώπιση και τα συμπεράσματα
- αυτόνομη αναδρομή των μαθητών στο περιεχόμενο και στα διάφορα βήματα του μαθήματος
- εργασίες για το σπίτι, όπως ασκήσεις, ερωτήσεις, αναζήτηση επιπλέον πληροφοριών
- παρατηρησιακές ασκήσεις για τον εντοπισμό περαιτέρω εφαρμογών
- σημείωση των σημαντικών κανόνων, σκίσεων, διαγραμμάτων σε ειδικό τετράδιο
- εθελοντική κατασκευή σχετική με το μάθημα.

Ο Bleichroth (1991) επιχειρεί μια κατηγοριοποίηση των δυνατοτήτων της επανάληψης, αναφέροντας την προφορική επανάληψη (χωρίς αυτή να περιορίζεται στην αποστήθιση), το τετράδιο αναδρομής, στο οποίο σημειώνονται συνοπτικά τα σημαντικότερα σημεία του μαθήματος, το σχολικό βιβλίο, όταν κατάλληλος παράγραφος συνοψίζουν προηγούμενα συμπεράσματα, τις ασκήσεις, από την απλή απάντηση ερωτήσεων που προκύπτουν από το μάθημα ως τις δυσκολότερες που αναφέρονται σε περισσότερες ενότητες ανακεφαλαιωτικά, και την άσκηση δεξιοτήτων, όπως π.χ. τη χρήση νέων μονάδων που ορίστηκαν στην τάξη.

Η επιδίωξη της ικανότητας μεταφοράς (transfer) και εφαρμογής των γνώσεων σε παρεμφερή προβλήματα είναι το δυσκολότερο στάδιο για τους μαθητές, αφού τα νέα στοιχεία προέκυψαν καταρχήν από το στενό πεδίο φαινομένων και δεδομένων στο οποίο μελετήθηκαν (Duit et al. 1981)⁵⁶. Η επέκταση της εφαρμοσιμότητας των δεδομένων σε παρεμφερή φαινόμενα μπορεί να αντιμετωπιστεί με συζήτηση στην τάξη, που να υποστηρίζεται από οπτικά ή ακουστικά ερεθίσματα. Η συζήτηση πρέπει να αποσκοπεί στον εντοπισμό φαινομένων από το χώρο εμπειριών των μαθητών στα οποία οι νέες γνώσεις μπορούν να εφαρμοστούν, καθώς και στη διαπίστωση ενδεχόμενων αποριών που οι μαθητές είναι τώρα σε θέση να απαντήσουν. Παραδείγματα από τεχνολογικές ή άλλες εφαρμογές και συνέπειες των νέων στοιχείων μπορούν να εισαχθούν στο μάθημα με τη μορφή παρουσίασης, πειράματος (π.χ. παρουσίαση ταινίας ή μοντέλου ατμομηχανής μετά τη συζήτηση για τις μετατροπές στις μορφές ενέργειας) ή και άσκησης για το σπίτι (π.χ. άσκηση για την ερμηνεία των σπασμένων μπουκαλιών στην κατάψυξη μετά τη συζήτηση για την ανώμαλη διαστολή του νερού). Πολλές φορές η τελική αυτή συζήτηση δημιουργεί νέα ερωτήματα, που με κατάλληλη καθοδήγηση του εκπαιδευτικού μπορούν να αποτελέσουν το αφετηριακό ερέθισμα, το κίνητρο για την επόμενη διδακτική ενότητα.

2.7 Διδακτικά μοντέλα

«... Αν υπάρχει ένα πεδίο στο οποίο η ενεργός συμμετοχή είναι αναγκαία, με όλη την έννοια της λέξης, αυτό είναι το πεδίο στο οποίο διδάσκεται η πειραματική διαδικασία. Ένα πείραμα το οποίο δεν εκτελείται αυτόνομα με όλη την ελευθερία της πρωτοβουλίας δεν είναι εξ ορισμού πείραμα, είναι απλό παίδεμα χωρίς εκπαιδευτική αξία.»
J. Piaget

Τα διδακτικά μοντέλα ή αλλιώς διδακτικές στρατηγικές αποτελούν σχήματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στη δομή και μεθοδολογία, όσον αφορά στο σχεδιασμό και στην οργάνωση της διδακτικής - μαθησιακής πορείας (Bybee et al, 2008). Χαρακτηριστικά σημεία της διαφοροποίησης των διδακτικών σχημάτων είναι η κατανομή των δραστηριοτήτων στο εκπαιδευτικό και στους μαθητές, το σχέδιο της λογικής εξέλιξης του μαθήματος σε αναφορά με γενικές αντιλήψεις για τη μάθηση και νοητικές δραστηριότητες των μαθητών, καθώς και το σχέδιο της λογικής εξέλιξης του μαθήματος αναφορικά με ειδικά στοιχεία των φυσικών επιστημών (Bleichroth 1991). Η επιλογή συγκεκριμένου διδακτικού μοντέλου πρέπει να είναι σε συνάρτηση με το επίπεδο των μαθητών και τα υπάρχοντα μέσα διδασκαλίας και να εξυπηρετεί τους

δεδομένους διδακτικούς στόχους. Σημαντικό είναι ο όποιος διαχωρισμός να μη δημιουργεί στεγανά. Το γεγονός για παράδειγμα ότι ένα μοντέλο ονομάζεται «ιστορικό» δε σημαίνει ότι στοιχεία από την ιστορία της επιστήμης δε χρησιμοποιούνται σε άλλες προσεγγίσεις ούτε η υιοθέτηση ερευνητικής διδασκαλίας σημαίνει ότι σε κάποιο θέμα που δεν ενδείκνυται η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν μπορεί να επιλεγεί άλλη προσφορότερη αντιμετώπιση.

Για το χαρακτηρισμό των διδακτικών μοντέλων ανάλογα με την κατανομή δραστηριοτήτων στον εκπαιδευτικό και τους μαθητές χρησιμοποιούνται ακραίοι όροι, όπως δασκαλοκεντρικά ή μαθητοκεντρικά μοντέλα διδασκαλίας αλλά και ενδιάμεσοι, όπως μάθημα προσανατολισμένο στο μαθητή (Rocard, 2007, Osborne and Dillon 2008, Bybee et al, 2008). Με εξαίρεση την αξιολόγηση της επίδοσης και της συμπεριφοράς του μαθητή που γίνεται χωρίς άμεση αντίστοιχη μαθητική δραστηριότητα, στις υπόλοιπες πρωτοβουλίες του εκπαιδευτικού αντιστοιχούν μαθητικές δραστηριότητες. Έτσι στη διάλεξη του εκπαιδευτικού που μπορεί να αναφέρεται σε παρουσίαση ή εξήγηση ενός θέματος η αντίστοιχη μαθητική δραστηριότητα είναι δεκτική (ο μαθητής ακούει, σκέφτεται, παρατηρεί, δέχεται πληροφορίες), ενώ στην ενεργοποίηση, που μπορεί να αναφέρεται σε ερώτηση, άσκηση ή οδηγία για πείραμα, οι αντίστοιχες μαθητικές δραστηριότητες είναι σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό ενεργητικές.

Ο χαρακτηρισμός ενός μοντέλου ως δασκαλοκεντρικού, προσανατολισμένου στο μαθητή ή μαθητοκεντρικού αναφέρεται στο βαθμό ενεργητικής δραστηριότητας των μαθητών. Αν οι σχετικές ευκαιρίες είναι σπάνιες, αν η καθοδήγηση είναι σε κάθε βήμα αυστηρή, το μοντέλο χαρακτηρίζεται δασκαλοκεντρικό. Η μεγάλη χρονική έκταση πρωτοβουλιών που τοποθετούν το μαθητή στο ρόλο του δέκτη εγκυμονεί τον κίνδυνο της παθητικής στάσης, αφού δεν είναι παρακολουθήσιμη η δραστηριότητά του, δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε αν είναι ενεργός, αν δεν αφαιρείται, αν σκέπτεται, αν παρακολουθεί με προσοχή και εξάγει συμπεράσματα. Αντίθετα στις ενεργητικές δραστηριότητες η πρόοδος του μαθητή είναι ευκολότερα παρατηρήσιμη.

Η επιλογή των δραστηριοτήτων πρέπει να είναι σε συνάρτηση με τον επιδιωκόμενο στόχο. Με τη διάλεξη για παράδειγμα μπορεί να στοχεύεται η μετάδοση γνωστικών στοιχείων, η εφαρμογή όμως, η ανάλυση, η σύνθεση και η αξιολόγηση εξυπηρετούνται αποτελεσματικότερα από ενεργητικές δραστηριότητες. Η καλλιέργεια της ικανότητας παρατήρησης, συστηματικής περιγραφής, πραγματοποίησης πειραμάτων, ερμηνείας αποτελεσμάτων, διαπίστωσης συσχετίσεων κ.τ.λ. επιτυγχάνονται μόνο μέσω ενεργητικών μαθητικών δραστηριοτήτων. «Αυτονομία, πρωτοβουλία και δημιουργική σκέψη καλλιεργούνται μόνο εφόσον κατά τη διάρκεια του μαθήματος δίνονται στους μαθητές ευκαιρίες να ενεργούν αυτόνομα, να παίρνουν πρωτοβουλίες και να σκέφτονται δημιουργικά» (Bleichroth 1991).

Η διάκριση της διδακτικής μεθοδολογίας σχετικά με τη λογική εξέλιξη του μαθήματος και τις γενικές αντιλήψεις για τη μάθηση, αναφέρεται στην επιλογή επαγωγικής ή παραγωγικής πορείας και στη χρήση της αναλυτικής ή συνθετικής μεθόδου. Στην επαγωγική μέθοδο με αφετηρία ειδικές παρατηρήσεις εξάγονται γενικά συμπεράσματα. Με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων μερικών πειραμάτων διατυπώνονται γενικότερες υποθέσεις. Μετά π.χ. την παρατήρηση της διαστολής σφαίρας και ράβδου, διατυπώνεται η γενικότερη υπόθεση ότι όλα τα στερεά σώματα διαστέλλονται. Στην περίπτωση των φυσικών επιστημών η επαγωγή δεν οδηγεί σε δεδομένους νόμους αλλά σε γενικότερες υποθέσεις που χρήζουν περαιτέρω εξακρίβωσης. Η παραγωγική μέθοδος είναι ουσιαστικά αντίστροφη, καθώς με βάση γενικούς νόμους επιδιώκεται η εξαγωγή ειδικότερων κανόνων για την ερμηνεία ειδικών φαινομένων. Στις φυσικές επιστήμες, και συνεπώς και στο σχετικό μάθημα, δε χρησιμοποιείται αμιγώς η επαγωγική ή η παραγωγική μέθοδος. Η εναλλαγή και ο συνδυασμός των δύο μεθόδων είναι συνηθέστερες, ανάλογα με το συγκεκριμένο θέμα που μελετάται. Κατά τους Duit et al. (1981), όσον αφορά στη μαθησιακή διαδικασία, είναι ορθότερη η αναφορά στη διάκριση συνθετικής και αναλυτικής μεθόδου, καθώς και εδώ η διαφοροποίηση αναφέρεται στην πορεία από το ειδικό στο γενικό ή αντίστροφα. Στην αναλυτική μέθοδο πολύπλοκα θέματα αναλύονται σε απλούστερα προς μελέτη ερωτήματα, ενώ στη συνθετική μέθοδο επιχειρείται η κατανόηση και αφομοίωση σύνθετων προβλημάτων με συνδυασμό απλούστερων γνωστών στοιχείων.

Η διαμόρφωση των διδακτικών μοντέλων ειδικά για τις φυσικές επιστήμες εξαρτάται τέλος από την έμφαση που δίνεται στο θεματικό αντικείμενο ή στη μεθοδολογία προσέγγισής του. Αν ενδιαφέρει κύρια η μετάδοση του δεδομένου γνωστικού υλικού, δίνεται έμφαση στην ευρύτερη κάλυψη των θεματικών πεδίων, ενώ, όταν δίνεται βαρύτητα στη μεθοδολογία, αντιμετωπίζονται λιγότερα θέματα με έμφαση στη διαδικασία προσέγγισης (process oriented teaching), με τη σκέψη ότι η κατανόηση της διαδικασίας που οδηγεί στη γνώση θα επιτρέψει στους μαθητές να διευρύνουν αυτόνομα το πεδίο εφαρμογής όσων μαθαίνουν στο σχολείο. Η προσέγγιση αυτής της διαδικασίας κατάκτησης γνώσης επιδιώκεται σε διαφορετικά μοντέλα με διαφορετικό τρόπο.

2.7.1 Επιλογή διδακτικού μοντέλου

Η εξέλιξη της διδασκαλίας δεν μπορεί να είναι τυχαία και να βασίζεται στον αυθορμητισμό της στιγμής. Η επιλογή της διδακτικής μεθοδολογίας πρέπει ν' ανταποκρίνεται στις διδακτικές και παιδαγωγικές αρχές και να εξυπηρετεί την υλοποίηση των διδακτικών σκοπών και στόχων, προσφέροντας δυνατότητες πολύπλευρης αντιμετώπισης της διδασκτέας ύλης, συγκροτημένες όμως μεθοδολογικά, ώστε η μία να ενισχύει την άλλη, συντελώντας τελικά στη γνωστική εδραίωση των νέων δεδομένων. Η επιλογή της μεθοδολογίας είναι καθοριστική για την επιτυχία του μαθήματος, αφού προδιαγράφει τη δομή του μαθήματος και την ποιότητα της σχέσης μαθητή - εκπαιδευτικού.

Σε συνάρτηση με τις διδακτικές και παιδαγωγικές αρχές που αναλύθηκαν στην παράγραφο 2.1, καθώς και την επιλογή των απλών μέσων και υλικών για τα πειράματα που εκτελούν οι μαθητές, επιβάλλεται η απόρριψη των δασκαλοκεντρικών μοντέλων και η υιοθέτηση διδακτικής μεθοδολογίας προσανατολισμένης στο μαθητή, με την οποία να καλλιεργείται η αυτονομία του στην κατάκτηση των «νέων» μαθησιακών στοιχείων. Η βασική αυτή θέση αποτυπώνεται emphaticά στο *De l'Art de persuader* ("On the Art of Persuasion"), του Pascal: «Πειθόμαστε γενικά ευκολότερα από τα αίτια τα οποία ανακαλύπτουμε μόνοι μας παρά από εκείνα τα οποία δημιουργήθηκαν στο μυαλό άλλων».

Η επιλογή όμως ακόμη και με βάση τα παραπάνω δεν είναι μονοσήμαντη. Το εύρος αντίστοιχων μοντέλων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Αν στο ένα άκρο, ως προς τη σχέση εκπαιδευτικού - μαθητή και την αυστηρότητα του καθορισμού της διδακτικής πορείας, τοποθετούνται τα δασκαλοκεντρικά μοντέλα, τότε στο άλλο άκρο πρέπει να τοποθετηθεί το «ανοιχτό μάθημα». Ο όρος όμως «ανοιχτό μάθημα», «ανοιχτή διδασκαλία» ή παράγωγά του έχουν τιτλοφορήσει διδακτικές παρεμβάσεις με αρκετά διαφορετικά περιεχόμενα. Η προέλευσή του μπορεί να αναζητηθεί στις παιδαγωγικές τομές στη Μεγάλη Βρετανία στη δεκαετία του 1920. Η Maria Montessori χρησιμοποίησε τη φράση ενός παιδιού «*Βοήθησέ με να το κάνω μόνος μου*» για την περιγραφή της κεντρικής ιδέας των «ανοιχτών» διδακτικών προγραμμάτων (Berge 1993)⁵⁷. Ο Wallrabenstein (1992)⁵⁸ δίνει ένα γενικό ορισμό για το «ανοιχτό μάθημα»: «Ανοιχτό μάθημα είναι ένας γενικός χαρακτηρισμός για διαφορετικές μεταρρυθμιστικές παρεμβάσεις με πολυμορφία ανοίγματος περιεχομένου, μεθοδολογίας και οργανωτικής δομής, με στόχο την αλλαγή της σχέσης με το παιδί και με βάση μία νέα αντίληψη της έννοιας της μάθησης».

Είναι σαφές από τα παραπάνω ότι η λέξη «ανοιχτό» δεν αποτελεί χαρακτηρισμό συγκεκριμένης διδακτικής μεθοδολογίας. Είναι ορθότερο να δώσουμε στην έννοια «ανοιχτό» τη διάσταση του χαρακτηριστικού των διδακτικών μοντέλων. Με αυτήν την προσέγγιση του όρου τα δασκαλοκεντρικά μοντέλα έχουν αυτό το χαρακτηριστικό σε ελάχιστο βαθμό, θα τα χαρακτήριζε συνεπώς κανείς ως «κλειστά» μοντέλα. Ο Ramseger (1992)⁵⁹ αναφέρεται σε τρεις διαστάσεις της έννοιας «ανοιχτό»: το άνοιγμα του περιεχομένου, το μεθοδολογικό άνοιγμα και το οργανωτικό άνοιγμα.

Η επιλογή της διδακτικής μεθοδολογίας στην παρούσα προσέγγιση έχει στόχο τη σταδιακή μετατόπιση προς πιο «ανοιχτό» μάθημα. Επιδιώκεται ο προσανατολισμός του μαθήματος στο μαθητή, στο βαθμό που αυτό είναι δυνατό, χωρίς το μάθημα των φυσικών επιστημών να γίνει

αντιληπτό από τους μαθητές ως κάτι δραματικά καινούριο και ξένο με τα υπόλοιπα μαθήματα, που διδάσκονται στην πλειοψηφία τους δασκαλοκεντρικά. Ως προς το περιεχόμενο το μάθημα είναι «κλειστό», ο βασικός κορμός της ύλης είναι καθορισμένος. Παρ'όλα αυτά στο πλαίσιο του παραλληλισμού με τα θεματικά ενδιαφέροντα των μαθητών, ο εκπαιδευτικός έχει τη δυνατότητα να αποκλίνει από το βασικό αυτό κορμό του περιεχομένου, καθορίζοντας την έκταση και το βάθος της διδασκαλίας κάθε φαινομένου. Όπου εντοπίζει ενδιαφέρον των μαθητών, έχει τη δυνατότητα να εμβαθύνει με αναφορές σε εφαρμογές και παραδείγματα, ενώ, όταν διαπιστώνει αδιαφορία, μπορεί να επιταχύνει το ρυθμό εντοπίζοντας μόνο στα κύρια σημεία. Η έκταση της ύλης είναι ούτως ή άλλως αδύνατο να καλυφθεί πλήρως, ο εκπαιδευτικός συνεπώς μπορεί να αποφασίσει ποια θέματα δε θ' αντιμετωπίσει.

Βάση της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης αποτελεί το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο των Schmidkunz και Lindeman (1992)⁶⁰. Το διδακτικό αυτό μοντέλο περιγράφεται συστηματικά στην επόμενη παράγραφο. Η υλοποίησή του, όπως άλλωστε κάθε μοντέλου που προσανατολίζεται στο μαθητή, προϋποθέτει την καθιέρωση κατάλληλου κλίματος διδασκαλίας - μάθησης στην τάξη, κλίματος που κατοχυρώνει το «άνοιγμα» του μαθήματος, που βασίζεται στο σεβασμό της ελευθερίας του μαθητή να συγκαθορίσει τη μαθησιακή του πορεία, κλίματος που δημιουργεί τις προϋποθέσεις στους μαθητές για να εκφράσουν ελεύθερα, χωρίς το φόβο του χλευασμού και της ειρωνείας, τις απόψεις τους.

2.7.2 Το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο

Το ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο, μολονότι είναι ανακαλυπτικό, διαφοροποιείται, ακόμη και στον τίτλο του, στο γεγονός ότι η δυνατότητα των παιδιών στη συμμετοχική ανακάλυψη δεν είναι ανεξέλεγκτη αλλά εξελίσσεται σε συγκεκριμένα στάδια και μεθοδεύεται από συγκεκριμένες πρωτοβουλίες, που το καθιστούν πρακτικά εφαρμόσιμο. Ο εκπαιδευτικός έχει κάθε στιγμή τη δυνατότητα παρακολούθησης της μαθησιακής πορείας. Η ανακαλυπτική διάσταση σε καμιά περίπτωση δε σημαίνει την τυχαία διερεύνηση του φυσικού κόσμου με ανεξέλεγκτη πρωτοβουλία του μαθητή. Κάθε άλλο, η εξέλιξη της διδακτικής - μαθησιακής πορείας ελέγχεται αυστηρά, με γνωστικά - μαθησιακά στάδια, που διαδέχονται το ένα το άλλο. «Στο ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο διδασκαλίας υπάρχει δομή, η οποία επιτρέπει τη σχεδίαση, την εκτέλεση, την περιγραφή, την αξιολόγηση και την εκτίμηση βασικών στοιχείων του μαθήματος» (Schmidkunz and Lindeman 1992). Η ανακαλυπτική του διάσταση έγκειται στην ελεγχόμενη μετατόπιση του μαθήματος στη δραστηριότητα του μαθητή και στην αναγωγή των φαινομένων σε προβλήματα, τα οποία οι μαθητές καλούνται να αντιμετωπίσουν αυτόνομα. Οι μαθητές καλούνται να συστηματοποιήσουν την εργασία τους σύμφωνα με τα μεθοδολογικά πρότυπα των φυσικών επιστημών, να προβληματίζονται από τις καθημερινές τους παρατηρήσεις, να διατυπώνουν υποθέσεις, να τις ελέγχουν με απλά πειράματα, να παρατηρούν την εξέλιξή τους να καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους και να καταλήγουν σε ποιοτικά συμπεράσματα. Οι μαθητές δεν αντιμετωπίζουν πια τα φυσικά φαινόμενα τυχαία, αλλά καλούνται να τα μελετήσουν με μεθοδικό τρόπο. Μαθαίνουν να παρατηρούν συστηματικά και να εκτελούν απλά πειράματα, που πολλές φορές δε διαφέρουν από τις καθημερινές τους δραστηριότητες ως προς το περιεχόμενο αλλά κυρίως ως προς τη μεθοδολογία με την οποία τα αντιμετωπίζουν.

Σύμφωνα με τη θεωρία του κονστρουκτιβισμού (constructivism) κάθε μαθητής δομεί (constructs) τη δική του αντίληψη για τον κόσμο. Η φυσική πραγματικότητα είναι μία και δεδομένη. Ο τρόπος όμως που καθένας μας την προσεγγίζει είναι διαφορετικός. Διαμορφώνεται εξελικτικά με βάση τις προσωπικές εμπειρίες και σε σύνθεση με τις αντιλήψεις των άλλων. Η πορεία που οδηγεί κάθε φορά στο καινούριο δεν είναι δεδομένη. Στο σχολείο πρέπει συνεπώς να δίνεται περισσότερη έμφαση στην καλλιέργεια των γνωστικών δεξιοτήτων που θα οδηγήσουν στη διαμόρφωση της αντίληψης του μαθητή παρά στα περιεχόμενα της διδασκαλίας αυτά καθεαυτά. Πρέπει να δίνουμε στους μαθητές ευκαιρίες για προσωπικές, αυθεντικές εμπειρίες, εμπειρίες με ισχυρές αναλογίες με τον καθημερινό κόσμο.



Εικόνα 2.2: Οι κύριες φάσεις και οι επιμέρους δραστηριότητες ενός μαθήματος σύμφωνα με το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο.

Στις φυσικές επιστήμες η αναγκαιότητα ανάπτυξης νοητικών μοντέλων ανάγει τον παραγωγικό συλλογισμό (productive thinking) στο απαραίτητο μεθοδολογικό εφόδιο κατανόησής τους. Η μετάδοση λοιπόν της λογικής της παραγωγικής σκέψης είναι για το μάθημα των φυσικών επιστημών βασικό ζητούμενο. Ο συνδυασμός της προσέγγισης του παραγωγικού συλλογισμού με την παράλληλη αυτενεργητική δραστηριότητα εξυπηρετείται αποτελεσματικά στο μάθημα των φυσικών επιστημών με το ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο. Ο συνδυασμός σκέψης και πράξης οδηγεί στην εδραίωση νοητικών δεξιοτήτων πολύ ουσιαστικότερων από τη μηχανική εφαρμογή ή την απομνημόνευση συγκεκριμένων κανόνων. Με αυτή την έννοια η θέση του πειράματος είναι ιδιαίτερα σημαντική. «*Η δομή του ερευνητικά εξελισσόμενου μοντέλου επιτρέπει την αξιοποίηση του πειράματος με διάφορες διδακτικές λειτουργίες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαπίστωση του προς διερεύνηση προβλήματος, για την επίλυσή του ή για την εμπέδωση των νέων δεδομένων*» (Schmidkunz και Lindeman 1992). Η λειτουργία του δεν είναι αυτόνομη. Το πείραμα πρέπει να είναι σε λογικό συνδυασμό με την προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος στο οποίο προσπαθούμε να ανάγουμε το φαινόμενο (Hofstein and Lunetta, 2004⁶¹). Η αναγωγή αυτή των φαινομένων σε προβλήματα, τα οποία οι μαθητές καλούνται να επιλύσουν, ξεχωρίζει το ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο από τα υπόλοιπα ανακαλυπτικά. Ο στόχος κάθε διδακτικής ενότητας ανάγεται σε πρόβλημα. Οι μαθητές καλούνται να αναγνωρίζουν, να διατυπώνουν και να επιδιώκουν την επίλυση του προβλήματος, αναπαράγοντας στον μικρόκοσμο του σχολείου με

συνέπεια την πορεία της επιστημονικής μεθοδολογίας. Διατυπώνουν μια υπόθεση, υλοποιούν μια πειραματική πρόταση αντιμετώπισης και την εκτελούν, παρατηρώντας συστηματικά την εξέλιξη του πειράματος και καταγράφοντας την παρατήρησή τους. Οι διαπιστώσεις συζητούνται και αφηρηματοποιούνται. Το νέο γνωστικό υλικό εμπεδώνεται τέλος με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού, ο οποίος επιλέγει παραδείγματα και εφαρμογές ανάλογες με τα ειδικά ενδιαφέροντα των μαθητών, προκαλώντας έτσι τη γενίκευση των συμπερασμάτων. Η μαθησιακή πορεία διαμορφώνεται λοιπόν με βάση τη διδακτικά σχεδιασμένη διατύπωση ενός προβλήματος και μιας αντίστοιχης στρατηγικής επίλυσης, η εκτέλεση της οποίας θα οδηγήσει στο γνωστικά «νέο». Στο σχολείο μεταδίδεται η επιστημονική μεθοδολογία, η οποία, σε συνδυασμό με την απλότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για τα πειράματα, επιτρέπει στους μαθητές να επαναλαμβάνουν και να επεκτείνουν τη διδακτική πορεία αυτόνομα στο σπίτι, διευρύνοντας το πεδίο των γνώσεών τους. Το ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο, αξιοποιώντας πολύπλευρα το πείραμα και την επιστημονική μεθοδολογία μέσα από την αναγωγή κάθε φαινομένου σε πρόβλημα προς επίλυση, καλλιεργεί πολύ ευρύτερες δεξιότητες των μαθητών. Πέρα από τις γνωστικές καλλιεργούνται τόσο οι ψυχοκινητικές όσο και οι συναισθηματικές δεξιότητες. Σύμφωνα με τα παραπάνω τα βασικά χαρακτηριστικά του ερευνητικά εξελισσόμενου μοντέλου είναι:

- η επιδίωξη της αναβάθμισης του ενδιαφέροντος για το μάθημα
- η ευρύτητα της αυτόνομης συμμετοχής του μαθητή
- η προσπάθεια προσφοράς της αίσθησης επιτυχίας
- η ισομερής επιδίωξη γνωστικών, συναισθηματικών και ψυχοκινητικών στόχων
- η αναγωγή των φαινομένων σε προβλήματα προς επίλυση
- η μεθόδευση της ανακάλυψης μέσα από δομημένο μάθημα
- η μετάδοση της επιστημονικής μεθοδολογίας
- ο ρόλος του εκπαιδευτικού στο συντονισμό του μαθήματος
- η σύνδεση των φαινομένων που μελετώνται με την καθημερινότητα
- η δυνατότητα επανάληψης των πειραμάτων και αυτόνομης διερεύνησης στον εξωσχολικό χώρο.

Με τον όρο ερευνητικό στον τίτλο του δίνεται έμφαση στην προσπάθεια να βοηθηθεί ο μαθητής, με βάση τις προϋπάρχουσες γνώσεις και τα μέσα που διαθέτει και με μεθόδους αντίστοιχες του γνωστικού του δυναμικού, να κατακτήσει αυτόνομα τα νέα στοιχεία. Η έρευνα ως μεθοδολογία και πρακτική με βάση όσα έχουν προαναφερθεί μπορεί να γίνει κτήμα του μαθητή ακόμη και στο δημοτικό σχολείο.

Με τον όρο εξελισσόμενο τονίζεται το γεγονός ότι η ερευνητική πορεία του μαθητή δεν είναι τυχαία και ελεύθερη, αλλά εξελίσσεται σε συγκεκριμένα στάδια με χρονική αλληλουχία. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι να οργανώσει και να συντονίσει την ερευνητική πρωτοβουλία του μαθητή σύμφωνα με τα στάδια αυτά και με στόχο τη διεύρυνση των νοητικών δομών, ώστε να καταστεί δυνατή η αφομοίωση του κάθε φορά καινούριου.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο η ερευνητική προσέγγιση δεν είναι εφαρμόσιμη χωρίς κάποια καθοδήγηση από το εκπαιδευτικό. Δεν υπάρχει ερευνητική διδασκαλία που να μην είναι σε μικρό ή μεγάλο βαθμό καθοδηγούμενη. Ακόμη και στην επιστημονική έρευνα η ανακάλυψη δεν είναι ελεύθερη. Κάθε ερευνητής δέχεται ερεθίσματα και έμμεση καθοδήγηση στην έρευνά του από τις προϋπάρχουσες γνώσεις του και τις επιδράσεις του επιστημονικού περιβάλλοντος (δημοσιεύσεις, συζητήσεις με συναδέλφους κ.ο.κ.). Σημαντικό είναι η όποια καθοδήγηση του μαθητή να στοχεύει στη μεθόδευση της δουλειάς του, χωρίς να επιφέρει το στραγγαλισμό της φαντασίας ούτε να καταπιέζει τη διάθεσή του να έχει την πρωτοβουλία. Πρέπει να είναι γενική και ευέλικτη, αλλά ταυτόχρονα αποτελεσματική στην εξασφάλιση της γνωστικής προόδου. *«Ενώ σεβόμαστε το δικαίωμα του παιδιού στο δικό του τρόπο εξερεύνησης, μπορεί να μας είναι δύσκολο να αντισταθούμε στον πειρασμό να το πιέσουμε να «ανακαλύψει» αυτό που εμείς ήδη γνωρίζουμε. Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί να μην αμβλύνουμε τη φλόγα της ανησυχίας και αναζήτησης με ένα βαρύ πέπλο από οδηγίες και δεδομένα...»* (Bybee, 2000⁶², Bell et al., 2004⁶³).

Η προσέγγιση της «επίλυσης» του «προβλήματος», στο οποίο ανάγεται το φαινόμενο που μελετάται, γίνεται στο ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο με μικρά γνωστικά βήματα, σε λογική αλληλουχία και με σταδιακά αυξανόμενο βαθμό αφηρηματοποίησης. Η αλληλουχία των βημάτων αυτών περιγράφεται παρακάτω με τα διδακτικά στάδια που χρονικά διαδέχονται το ένα το άλλο και αντιστοιχούν στα βασικά στάδια της επιστημονικής μεθοδολογίας. Η αλληλουχία των σταδίων αυτών, που χαρακτηρίζουν τη διδακτική - μαθησιακή πορεία, είναι αυτή που επιτρέπει στο εκπαιδευτικό το σχεδιασμό και τον έλεγχο της διδακτικής διαδικασίας και τον βοηθά στην οργάνωση και εκτέλεση του μαθήματος. Με την περιγραφή και ανάλυσή τους γίνεται επίσης κατανοητή η κατανομή των δραστηριοτήτων στους μαθητές και το εκπαιδευτικό, ώστε και η μετατόπιση του μαθήματος προς το μαθητή να επιτυγχάνεται αλλά και η ομαλή και προγραμματισμένη εξέλιξή του να εξασφαλίζεται. Τα διδακτικά στάδια στην προτεινόμενη διδακτική προσέγγιση είναι:

- **Εισαγωγικό ερέθισμα - Διατύπωση υποθέσεων:** Στο διδακτικό αυτό στάδιο επιδιώκεται ο προσανατολισμός του ενδιαφέροντος των μαθητών στο φαινόμενο που θα μελετηθεί, επιδιώκεται να τεθεί η βάση του «προβλήματος» και να δοθούν τα ερεθίσματα για την ανάπτυξή του. Μια σύντομη παρουσίαση του εκπαιδευτικού, μια συζήτηση εκπαιδευτικού - μαθητών ή μεταξύ των μαθητών μπορούν σταδιακά να αναδείξουν το πρόβλημα, το οποίο μέχρι αυτή τη στιγμή γνωρίζει μόνο ο εκπαιδευτικός. Με προσεκτικά ερεθίσματα από το εκπαιδευτικό μπορεί το πρόβλημα να αναπτυχθεί και στους μαθητές. Η επανάληψη στοιχείων προηγούμενων φύλλων εργασίας, αν προσφέρεται για τη σύνδεση με ανάλογο πρόβλημα που θα επακολουθήσει, πρέπει να επιδιώκεται. Στο στάδιο αυτό προκαλείται και η διατύπωση υποθέσεων. Οι υποθέσεις πρέπει να βασίζονται στο συνδυασμό των προγενέστερων σχετικών γνώσεων, συνεπώς πρέπει στο μυαλό των μαθητών να σχηματίζονται με την έννοια της πιθανότητας επιτυχίας και να μην είναι απλές εικασίες. Κατά την πρόκληση της διατύπωσης υποθέσεων γίνεται και η καταγραφή των πρώιμων αντιλήψεων των μαθητών, των σχετικών με το φαινόμενο. Ο εκπαιδευτικός πρέπει να έχει την εικόνα του πλαισίου στο οποίο οι μαθητές εντάσσουν το πρόβλημα, της απλοϊκής ερμηνείας με την οποία το έχουν συνδέσει, ώστε να μπορεί να κατευθύνει με αποτελεσματικότητα τη διαδικασία της προσαρμογής. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται πολλή προσοχή, ώστε στην προσπάθεια ανίχνευσης των πρώιμων αντιλήψεων να μη συντελούμε στη δημιουργία νέων που δεν προϋπήρχαν (Jung 1981). Αν πιεστικά ρωτάμε ένα μαθητή, για παράδειγμα, σχετικά με την αντίληψή του για την ενέργεια, είναι πιθανό, ακόμη και αν δεν είχε προβληματιστεί σχετικά, να δημιουργήσει κάποια άποψη, μόνο και μόνο για να απαντήσει στο ερώτημα. Ενώ πρέπει να είμαστε πρόθυμοι να απαντάμε όσο το δυνατόν ορθότερα σε οποιοδήποτε ερώτημα προκύπτει, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να μην προκαλούμε απαντήσεις σε πρόωρα ερωτήματα που δεν έχουν απασχολήσει τους μαθητές. Μια έμμεση ερώτηση, ανοιχτή και ελεύθερη, για παράδειγμα «τι σκέφτεστε, όταν ακούτε τη λέξη ενέργεια;», μπορεί να δώσει στοιχεία για τις πρώιμες αντιλήψεις των μαθητών χωρίς τον κίνδυνο της δημιουργίας νέων. Είναι προφανές ότι σε καμιά περίπτωση δεν πιέζουμε τους μαθητές να δώσουν απαντήσεις στα εισαγωγικά ερωτήματα.
- **Πειραματική αντιμετώπιση:** Στο στάδιο αυτό οι μαθητές εκτελούν ένα ή περισσότερα πειράματα, παρατηρούν συστηματικά και καταγράφουν την παρατήρησή τους. Αν κάποια ενότητα δεν ενδείκνυται για την εκτέλεση πειράματος, οι μαθητές εκτελούν δραστηριότητες που περιγράφονται στο βιβλίο τους. Στην περίπτωση του πειράματος πρέπει ο εκπαιδευτικός να αποφασίσει κατ' αρχήν τη μορφή της εργασίας. Ανάλογα με το διαθέσιμο χρόνο και την υπάρχουσα υποδομή θα επιλεγεί αν θα γίνει πείραμα επίδειξης ή πείραμα σε ομάδες. Είναι προφανές, σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί για τη σημασία της όσο το δυνατό ευρύτερης συμμετοχής του μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία, ότι προτιμητέα είναι η εκτέλεση του πειράματος σε ομάδες. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να καθοριστεί η μορφή της συνεργασίας. Αν το πείραμα έχει έκταση και πολυπλοκότητα, μπορεί να επιλεγεί η κατανομή καθηκόντων, για παράδειγμα ένας μαθητής συγκεντρώνει τα όργανα, άλλος στήνει τη διάταξη, ενώ τρίτος καταγράφει τις παρατηρήσεις. Αν το πείραμα δεν έχει έκταση και πολυπλοκότητα, μπορεί να επαναληφθεί μεμονωμένα από κάθε μαθητή. Είναι σημαντικό να συζητηθούν αναλυτικά οι οδηγίες του πειράματος, προτού οι μαθητές πάρουν τα όργανα και τα υλικά και

αρχίσουν να εκτελούν το πείραμα, αφού μετά απ' αυτό το σημείο η προσοχή τους είναι στραμμένη στα υλικά που έχουν μπροστά τους και όχι στο εκπαιδευτικό ή στους συμμαθητές τους. Ο εκπαιδευτικός με τη βοήθεια των μαθητών πρέπει να έχει φροντίσει να συγκεντρώσει τα απαραίτητα για το πείραμα υλικά πριν την έναρξη του μαθήματος. Κατά την εκτέλεση του πειράματος ο εκπαιδευτικός έχει το δύσκολο ρόλο του αρωγού παράλληλα για όλες τις ομάδες, τις οποίες και επισκέπτεται, χωρίς όμως να παρεμβαίνει, για να μη μετατραπεί το πείραμα σε επίδειξη. Οι μαθητές είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στο να καλέσουν το εκπαιδευτικό σε βοήθεια, όταν κάτι δεν πηγαίνει όπως περιμένουν, ζητώντας του να λύσει το πρόβλημα. Η προθυμία του εκπαιδευτικού να πάρει αυτόν το ρόλο καταργεί στην ουσία την ερευνητική προσέγγιση. Με κατάλληλα ερεθίσματα μπορεί να βοηθήσει την ομάδα να αντιμετωπίσει αυτόνομα το πρόβλημα, χωρίς να προσφέρει έτοιμες λύσεις και απαντήσεις. Για την περίπτωση που προτιμηθεί η εκτέλεση κάποιου πειράματος με τη μορφή επίδειξης, πρέπει ο εκπαιδευτικός να φροντίσει η συμμετοχή των μαθητών να είναι όσο το δυνατόν πιο ενεργητική και να μην περιορίζεται στην παρατήρηση της εκτέλεσης του πειράματος. Ο εκπαιδευτικός μοιράζει ρόλους «βοηθού» σε όσο το δυνατόν περισσότερους μαθητές ή καλεί μαθητές στην έδρα σε κάποια φάση του πειράματος. Η εναλλαγή των μαθητών που βοηθούν το εκπαιδευτικό στα πειράματα επίδειξης εξασφαλίζει την ισότιμη αντιμετώπιση των μαθητών. Ο εκπαιδευτικός περιέρχεται την τάξη εξασφαλίζοντας την ορθότητα των παρατηρήσεων που σημειώνουν οι μαθητές.

- **Εξαγωγή συμπεράσματος:** Μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης των πειραμάτων και μέσα από συζήτηση στην τάξη, επιδιώκεται η αφηρηματοποίηση και η γενίκευση των παρατηρήσεων με τη διατύπωση ενός συμπεράσματος. Σε κάποια φύλλα εργασίας, όταν το φαινόμενο είναι σύνθετο, η εξαγωγή του συμπεράσματος γίνεται σταδιακά. Σε κάποια άλλα, όταν το φαινόμενο που μελετάται είναι πιο απλό, η εξαγωγή του συμπεράσματος γίνεται στο τέλος του φύλλου εργασίας. Η αφηρηματοποίηση μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, ανάλογα με το φαινόμενο που οι μαθητές μελετούν, πρέπει όμως σε κάθε περίπτωση να επιτυγχάνεται σταδιακά, με μικρά βήματα, σε αντιστοίχιση με την ικανότητα των μαθητών να την αφομοιώσουν. Προσπάθεια του εκπαιδευτικού είναι η αποτελεσματικότητα της προσαρμογής και η εγκατάλειψη της πρώιμης αντίληψης, όταν αυτή είναι ανεπαρκής. Ο έλεγχος της επιτυχίας της προσπάθειας αυτής θα γίνει στο τελευταίο διδακτικό στάδιο με την εμπέδωση. Αν το συμπέρασμα είναι δύσκολο, δίνεται βοήθεια στους μαθητές με τη μορφή λέξεων που πρέπει να χρησιμοποιήσουν. Μετά την εξαγωγή του συμπεράσματος οι μαθητές ανατρέχουν στις υποθέσεις που διατύπωσαν στην αρχή του μαθήματος και ελέγχουν, με βάση όσα μελέτησαν πειραματικά, την επιβεβαίωση ή απόρριψή τους. Μέσα από συζήτηση στην τάξη οι μαθητές σχολιάζουν, επαναδιατυπώνουν, συμπληρώνουν ή διορθώνουν τις υποθέσεις τους. Με τον τρόπο αυτό γίνεται σαφές ότι η πειραματική διαδικασία είναι αυτή που οδηγεί στη διεύρυνση του γνωστικού πεδίου.
- **Εμπέδωση - Γενίκευση:** Στο τελευταίο διδακτικό στάδιο επιδιώκεται η εμπέδωση και η γενίκευση των νέων γνωστικών στοιχείων. Αυτό επιτυγχάνεται με δραστηριότητες που αναφέρονται σε εφαρμογές και παραδείγματα ή έχουν επαναληπτικό χαρακτήρα. Οι δραστηριότητες εμπέδωσης αναφέρονται συχνά σε εφαρμογές στην καθημερινή ζωή των φαινομένων που μελετήθηκαν στο φύλλο εργασίας. Η γενίκευση των συμπερασμάτων, στα οποία οι μαθητές κατέληξαν με την πειραματική διερεύνηση, με όσο το δυνατόν περισσότερες εφαρμογές δίνει τη διάσταση της ευρύτητας του φαινομένου και δημιουργεί παράλληλα ευκαιρίες για ασυνείδητη ανάκληση του συμπεράσματος, στο οποίο οι μαθητές κατέληξαν στο σχολείο, κάθε φορά που οι μαθητές αντιμετωπίζουν στην καθημερινή τους ζωή την εφαρμογή με την οποία το συμπέρασμα συνδέθηκε. Οι αναφορές των μουσικών οργάνων στην ακουστική, των ιατρικών θερμομέτρων στη θερμότητα, του ματιού στην οπτική, των ηλεκτρικών συσκευών στον ηλεκτρισμό αποτελούν μερικά μόνο παραδείγματα σ' αυτήν την κατεύθυνση. Ο βαθμός ικανότητας των μαθητών να ανταποκριθούν στις εργασίες αυτές δίνει στο εκπαιδευτικό την πληροφορία για την επιτυχία της εδραίωσης των νέων γνωστικών δεδομένων, στοιχείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αξιολόγηση των μαθητών.

Το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό μοντέλο αποτελεί τη βάση για τον σχεδιασμό όλων των εκπαιδευτικών σεναρίων που παρουσιάζονται στην παρούσα ερευνητική εργασία. Στο πλαίσιο

της εργασίας παρουσιάζουμε επίσης μία πρόταση για την οργάνωση των εκπαιδευτικών διαδρομών σε μουσεία και κέντρα επιστημών που βασίζεται στη χρήση του ερευνητικά εξελισσόμενου διδακτικού μοντέλου.

2.7.3 Η Ανακαλυπτική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών - Μια Ανανεωμένη Παιδαγωγική προσέγγιση για το Μέλλον της Ευρώπης

Η ιδέα της διδασκαλίας μέσω μιας ανακαλυπτικής προσέγγισης (inquiry) έχει μακρά ιστορία στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες. Παράλληλα υπάρχει μια εξίσου μακρά ιστορία σύγχυσης ως προς το τι είναι πραγματικά η διδασκαλία μέσω της ανακαλυπτικής και, ανεξαρτήτως του ορισμού της, ως προς το πώς αυτή εφαρμόζεται στην τάξη. Η ανακαλυπτική μάθηση προωθείται επίσημα σε πολλές χώρες ως παιδαγωγική προσέγγιση για τη βελτίωση της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες (Bybee et al., 2008, Hounsell and McCune, 2003⁶⁴, Minner, Levy & Century, 2010⁶⁵).

Μετά τη δημοσίευση της έκθεσης με τον τίτλο “Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe” («Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες Τώρα: Μια Ανανεωμένη Παιδαγωγική Προσέγγιση για το Μέλλον της Ευρώπης») (Rocard, 2007) η ανακαλυπτική διδασκαλία προωθείται επίσημα και ως ένας από τους κορυφαίους εκπαιδευτικούς στόχους της Ευρώπης. Η ανακαλυπτική προσέγγιση μπορεί να οριστεί ως: «η συνειδητή διαδικασία διάγνωσης προβλημάτων, κριτικής θεώρησης πειραμάτων, και διάκρισης εναλλακτικών λύσεων, σχεδιασμού ερευνών, διερεύνησης εικασιών, αναζήτησης πληροφοριών, κατασκευής μοντέλων, συζήτησης με «ομοίους» (peers), και διατύπωσης συνεκτικών επιχειρημάτων» (Linn, Davis & Bell, 2004⁶⁶).

Η ανακαλυπτική μάθηση έχει επίσης περιγραφεί ως μάθηση των Φυσικών Επιστημών ως ανακάλυψη καθώς και μέσω ανακάλυψης (Tamir, 1985)⁶⁷. Η μάθηση των Φυσικών Επιστημών ως ανακάλυψη περιλαμβάνει την εκμάθηση του τρόπου με τον οποίο προχωρεί η επιστημονική προσπάθεια, καθώς και την ανάλυση της διερευνητικής διαδικασίας που πραγματοποιείται από άλλους, ενίοτε και με τη χρήση ιστορικών προσεγγίσεων (Bybee, 2000, Schwab, 1962⁶⁸). Από την άλλη πλευρά, η μάθηση των φυσικών επιστημών μέσω ανακάλυψης αφορά στο μαθητή, ο οποίος εγείρει ερευνητικά ερωτήματα, διατυπώνει υποθέσεις, σχεδιάζει πειράματα για να τις ελέγξει, δημιουργεί και αναλύει επιχειρήματα βασισμένα σε στοιχεία, αναγνωρίζει τις εναλλακτικές εξηγήσεις, αλλά και «επικοινωνεί» τα επιστημονικά επιχειρήματα προς τους άλλους (Tamir, 1985). Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην αρχή ότι οι καλύτερες στρατηγικές διδασκαλίας είναι εκείνες που βοηθούν την επίτευξη των μαθησιακών αποτελεσμάτων που ο εκπαιδευτικός έχει ορίσει για τους μαθητές του. Πρέπει επομένως να ξεκινήσει κανείς από τον προσδιορισμό των «προσανατολισμένων στη ανακάλυψη αποτελεσμάτων» για τη μάθηση των Φυσικών Επιστημών.

Κατά την άποψή μας, αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Κατανόηση του αντικείμενου της διδασκαλίας (της «διδασκτέας ύλης»)
- Ανάπτυξη των απαραίτητων ικανοτήτων για την πραγματοποίηση επιστημονικής διερεύνησης
- Ανάπτυξη κατανόησης της επιστημονικής διερεύνησης

Επιπλέον, όσον αφορά στις συμπεριφορές που ο μαθητής θα πρέπει να επιδεικνύει σε μια σχολική αίθουσα προσανατολισμένη στη διερεύνηση, πρέπει να λάβουμε υπόψη πέντε βασικά χαρακτηριστικά. Ο μαθητής:

- ασχολείται με ερωτήματα με επιστημονικό προσανατολισμό.
- δίνει προτεραιότητα στα αποδεικτικά στοιχεία κατά την απάντηση των ερωτημάτων.
- διατυπώνει εξηγήσεις βασισμένος στα στοιχεία.
- συνδέει τις εξηγήσεις με την επιστημονική γνώση.
- παρουσιάζει και δικαιολογεί τις εξηγήσεις.

Είναι γεγονός πως η σημερινή κατάσταση στις αίθουσες διδασκαλίας στα περισσότερα σχολεία σε όλη της Ευρώπη απέχει σημαντικά από το να αποτελεί ένα περιβάλλον που προωθεί και υποστηρίζει την ανακαλυπτική μάθηση. Όπως εύστοχα παρατηρεί ο Kinchin (2004)⁶⁹ πως η ισορροπία της δασκαλοκεντρικής και της μαθητοκεντρικής προσέγγισης είναι κυρίαρχο χαρακτηριστικό για την αποτελεσματική διδασκαλία. Τα αποτελέσματα της έρευνας TIMSS (Third International Mathematics and Science Study) που παρουσιάζονται στο International Science Report (Martin *et al.*, 2004)⁷⁰ αποδεικνύουν ότι τρεις είναι οι κυρίαρχες δραστηριότητες στις τάξεις όπου διδάσκονται Φυσικές Επιστήμες, σε διεθνές επίπεδο καλύπτοντας περίπου το 60% του χρόνου του μαθήματος: 30% αφιερώνεται σε διάλεξη ή παρουσίαση από τον εκπαιδευτικό, 16% σε καθοδηγούμενες από τον εκπαιδευτικό πειραματικές δραστηριότητες και 14% αφιερώνεται σε δραστηριότητες όπου οι μαθητές πειραματίζονται χωρίς καθοδήγηση. Το ποσοστό της διάλεξης του εκπαιδευτικού για την Ελληνική πραγματικότητα ανεβαίνει στο 40% του χρόνου του μαθήματος ενώ ο ελεύθερος πειραματισμός των μαθητών περιορίζεται σε ποσοστά κάτω του 10% και για τις τελευταίες τάξεις του Λυκείου θα μπορούσε να πει κανείς πως απουσιάζει τελείως από την ατζέντα του μαθήματος. Τα δεδομένα αναδεικνύουν την ξεκάθαρη αστοχία των σημερινών εκπαιδευτικών συστημάτων και τονίζουν το σημαντικό τους έλλειμμα. Αντί να βοηθούν τους μαθητές να σκέφτονται επιστημονικά και να λειτουργούν μεθοδικά και συστηματικά, τους επιβάλλουν να ακούν για νόμους και έννοιες ασύνδετες με την καθημερινότητα τους, αλλά και να τους αποστηθίζουν, αφού η επιτυχία και η εισαγωγή τους στο πανεπιστήμιο εξαρτάται μόνο από αυτό.

Παρά το γεγονός ότι οι παιδαγωγικές προσεγγίσεις μελετώνται και δοκιμάζονται για πολλά χρόνια, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματά τους προάγουν και βοηθούν την εκπαιδευτική διαδικασία, δεν φαίνεται να ενσωματώνονται στις εκπαιδευτικές πρακτικές. Οι εκπαιδευτικοί ισχυρίζονται πως δύο είναι οι κύριοι λόγοι που δεν επιτρέπουν τον εκσυγχρονισμό της εκπαιδευτικής πρακτικής: το αναλυτικό πρόγραμμα που δεν επιτρέπει την εισαγωγή της καινοτομίας και το ίδιο το περιβάλλον της σχολικής τάξης μαζί με την περιορισμένη υλικοτεχνική υποδομή που αποκλείει ακόμα και τη σκέψη για ανάπτυξη πειραματικών δραστηριοτήτων που θα ενεργοποιήσουν τους μαθητές. Είναι κοινό μυστικό μεταξύ των μάχιμων εκπαιδευτικών πως το σχολικό περιβάλλον ποτέ δεν εκσυγχρονίστηκε, ποτέ δεν τροποποιήθηκε έτσι ώστε να μπορέσει να ανταποκριθεί στις νέες προσεγγίσεις που προτείνονται από την εκπαιδευτική έρευνα.

Η παρούσα κατάσταση θα πρέπει να διορθωθεί εάν επιθυμούμε οι Φυσικές Επιστήμες να αποκτήσουν τη θέση που τους αρμόζει στην εκπαιδευτική διαδικασία.

3 Προηγμένες Τεχνολογικές εφαρμογές για την αναβάθμιση της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών

Σήμερα, μετά κυρίως την έκδοση της έκθεσης Rocard που δημοσιεύτηκε το 2007 και τις εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις που ακολούθησαν σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, οι παλιότερες διδακτικές προσεγγίσεις που βασίζονται στο ανακαλυπτικό διδακτικό μοντέλο έρχονται ξανά στο προσκήνιο. Οι προσεγγίσεις αυτές διευρύνονται μέσω διερεύνησης και μοντελοποίησης, και φιλοδοξούν να οδηγήσουν στη μάθηση των επιστημονικών μοντέλων, αλλά κυρίως στη μύηση στις επιστημονικές διαδικασίες. Υπάρχει όμως και μία άλλη παράμετρος σήμερα που φαίνεται να δίνει σημαντική ώθηση στις προσεγγίσεις αυτές. Οι ιδέες της διερεύνησης και μοντελοποίησης ευνοούνται και από την ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογικών εφαρμογών που προσφέρουν κατάλληλα εργαλεία και υποστήριξη στην εκπαιδευτική κοινότητα δίνοντας την ευκαιρία να υιοθετηθούν αποτελεσματικά στην εκπαιδευτική πράξη. Παράλληλα εμφανίζονται και νέες ιδέες όπως η έννοια του επιστημονικού γραμματισμού με ασαφή όμως τόσο τον ορισμό του όσο και τις μεθόδους επίτευξής του, διαπολιτισμικές, διαθεματικές προσεγγίσεις, όπως και προσεγγίσεις για την εκπαίδευση ειδικών ομάδων μαθητών. Το ενδιαφέρον στοιχείο βρίσκεται στο ότι σε αντίθεση με προηγούμενες απόπειρες αλλαγής, όπως για παράδειγμα το 1980 φαίνεται ότι οι νέες προσεγγίσεις ενσωματώνουν σε μεγάλο βαθμό παλιότερες ιδέες, όπως π.χ. την αξιοποίηση των αρχικών ιδεών των μαθητών και τη σύνδεση με την καθημερινότητα τους αλλά κυρίως την επέκταση της έννοιας της ανακάλυψης που (είτε καθοδηγούμενη ή πιο ελεύθερη) διατρέχει πλέον όλες τις φάσεις της διδακτικής παρέμβασης.

Στο επίπεδο της εκπαιδευτικής πράξης, στην χώρα μας γίνονται προσπάθειες να ενσωματωθούν ορισμένες από τις προηγούμενες καινοτομίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων Αναλυτικών Προγραμμάτων και σχολικών βιβλίων και τη δημιουργία σημαντικών εργαστηριακών υποδομών ιδιαίτερα στα Λύκεια. Στο επίπεδο της διδασκαλίας, αν και γίνεται προσπάθεια για πειράματα και πιο ομαδοσυνεργατικές προσεγγίσεις, δεν φαίνεται να υποχωρεί σημαντικά η παραδοσιακή διδασκαλία, λόγω και της περιορισμένης μετεκπαίδευσης των εκπαιδευτικών.

Στις βασιζόμενες στην Τεχνολογία κοινωνίες, όλο και περισσότερες αποφάσεις σχετίζονται με την πρόοδο στην Επιστήμη και στην Τεχνολογία. Κατά συνέπεια, ο επιστημονικός αλφαριθμητισμός καθίσταται κρίσιμος για τη δημοκρατία ως σύστημα ενεργούς συμμετοχής των πολιτών. Επίσης, σε όλους σχεδόν τους τομείς της παραγωγής, της αναψυχής και της καθημερινής ζωής, εισάγονται συνεχώς νέα προϊόντα, μέσα και διαδικασίες, τα οποία απαιτούν εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις σε συγκεκριμένο τομέα καθώς και γενικότερη εξοικείωση. Επειδή πρόκειται για νέα προϊόντα και υπηρεσίες, η εξοικείωση και, προπάντων, ο αλφαριθμητισμός μπορεί να επιτευχθούν μόνο μέσω της εκπαίδευσης. Προβάλλει έτσι επιτακτικά η ανάγκη για μια αποτελεσματική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών η οποία θα πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες αλφαριθμητισμού του μεγάλου μέρους του πληθυσμού και, συγχρόνως, να δημιουργεί τις βάσεις για την περαιτέρω εκπαίδευση των μελλοντικών επιστημόνων (συνδυασμός του ανακαλυπτικού ρεύματος και του επιστημονικού αλφαριθμητισμού).

Η προστιθέμενη αξία της εισαγωγής των νέων τεχνολογικών εφαρμογών έγκειται στην αναβάθμιση της υπάρχουσας εκπαιδευτικής πραγματικότητας και ειδικότερα σε περιοχές που όπου οι παρούσες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις φαίνεται να αποτυγχάνουν. Μία χαρακτηριστική περίπτωση είναι η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στις τάξεις του Λυκείου. Οι διδασκόμενες έννοιες (π.χ. ταχύτητα, επιτάχυνση, ορμή, στροφορμή, δύναμη, ώθηση, τριβή, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πεδία) παρουσιάζονται στους μαθητές με θεωρητικό τρόπο, ασύνδετες με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών. Το αποτέλεσμα είναι η διδασκαλία να μην κεντρίζει το ενδιαφέρον των μαθητών και αυτοί με τη σειρά τους να χάνουν το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες αλλά και γενικότερα για τις διαδικασίες της επιστημονικής μεθοδολογίας. Το παράδοξο είναι ότι όλες οι έννοιες των φυσικών επιστημών που διδάσκονται στο σχολείο αφορούν σε

μεγάλο βαθμό στις καθημερινές μας δραστηριότητες και είναι άμεσα συνδεδεμένες με την καθημερινή μας ζωή. Κι όμως η εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθείται στο σύνολο των σχολείων (όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό) αγνοεί επίμονα αυτούς τους ισχυρότατους δεσμούς.

Η εκπαιδευτική τεχνολογία είναι μια διαδικασία διαδοχικών προσεγγίσεων για τον σχεδιασμό αποτελεσματικής διδασκαλίας. Περιλαμβάνει την εφαρμογή γνώσεων (πχ. από τις θεωρίες μάθησης, τη γνωστική ψυχολογία, ...), την ανάπτυξη τεχνικών διδακτικής προσέγγισης (σύμφωνα με το υιοθετούμενο κάθε φορά διδακτικό μοντέλο), και προπάντων, την ανάπτυξη, επιλογή και χρήση μέσων για την υποβοήθηση της διδασκαλίας. Η ανάγκη για μία πιο αποτελεσματική διδασκαλία, ιδιαίτερα στις Φυσικές Επιστήμες, καθώς και η δημιουργία νέων τεχνολογικών εφαρμογών, έχει στρέψει το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών προς την αναζήτηση νέων διδακτικών προσεγγίσεων, κυρίως με τη χρήση των συνεχώς εξελισσομένων δυνατοτήτων της Πληροφορικής, με συνέπεια μια ιδιαίτερα ανθηρή δραστηριότητα στον τομέα της Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας. Θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε σήμερα πως η τεχνολογική (ή ψηφιακή) «κουλτούρα» αρχίζει να αναπτύσσεται στη σχολική κοινότητα. Σε επίπεδο εκπαιδευτικής πολιτικής φαίνεται επίσης πως γίνονται σημαντικά βήματα για την υποστήριξη της εισαγωγής της καινοτομίας.

*Το Νέο Σχολείο είναι πρώτα απ' όλα **ΕΝΑ ΣΧΟΛΕΙΟ ΧΩΡΙΣ...ΤΟΙΧΟΥΣ!** Ένα σχολείο ανοικτό στις ιδέες, και στην κοινωνία, στην γνώση και το μέλλον, που αξιοποιεί κάθε σύγχρονο εργαλείο. **Ο Διαδραστικός Πίνακας, το ηλεκτρονικό βιβλίο, το ψηφιακό εκπαιδευτικό υλικό, ο προσωπικός μαθητικός υπολογιστής:***

- διευρύνουν τους ορίζοντες κάθε μαθητή και μαθήτριας,
- καταργούν τα σύνορα της γνώσης,
- διευκολύνουν την επικοινωνία με τον εκπαιδευτικό,
- συνδράμουν στο να ολοκληρώνεται η μαθητική διαδικασία στο σχολείο, ώστε «η τσάντα να μένει στο σχολείο»,
- εμπλουτίζουν τον μαθητικό βίο με δραστηριότητες εκπαιδευτικού παιχνιδιού και δημιουργικές εργασίες.

ΝΕΟ ΣΧΟΛΕΙΟ – ΠΡΩΤΑ Ο ΜΑΘΗΤΗΣ, Υπουργείο Παιδείας, δια Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων, Φεβρουάριος 2010.

Στο Νέο Σχολείο (Υπ. Παιδείας, 2010)⁷¹, που υποστηρίζεται από την τεχνολογία και φιλοδοξεί να ανοίξει παράθυρα στον κόσμο, **ο Μαθητής γίνεται «μικρός Επιστήμονας»** και αποκτά γνωστική επάρκεια στον χειρισμό των φυσικών και μαθηματικών εννοιών, την εφαρμογή τους στην καθημερινή ζωή, και παράλληλη ανάπτυξη της επιστημονικής λογικής και αφαιρετικής ικανότητας. **Ο Μαθητής γίνεται «μικρός ερευνητής».** Αποκτά **ποιότητα και ταχύτητα στην ανάλυση και στη σκέψη**, επάρκεια στη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας ώστε με κριτική ικανότητα να μπορεί να επιλέγει μέσα από την πληθώρα πληροφοριών και γνώσεων που έχει πλέον στην διάθεση του. **Στο Νέο Σχολείο**, γίνεται μεγαλύτερη εξατομίκευση της διδασκαλίας ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε μαθητή και μαθήτριας και προωθείται η ενεργητική συμμετοχή τους στις δραστηριότητες μάθησης αντί της παθητικής παρακολούθησης. Σύμφωνα με το πλάνο του Υπουργείου Παιδείας προωθούνται μαθητοκεντρικές διδακτικές προσεγγίσεις που αναγνωρίζουν τη μοναδικότητα του κάθε μαθητή και μαθήτριας καθώς και της κάθε σχολικής τάξης. Κύρια χαρακτηριστικά των νέων παιδαγωγικών τεχνικών που απαιτούνται είναι το πιο ευέλικτο μαθησιακό περιβάλλον, η βιωματική μάθηση, η ενεργητικότερη συμμετοχή των μαθητών στις δραστηριότητες και στο σχεδιασμό της προσωπικής τους μάθησης, η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών και η μεγαλύτερη εξατομίκευση της διδασκαλίας. Βασικές διδακτικές προσεγγίσεις οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά περίπτωση και σε συνδυασμό μεταξύ τους είναι (Υπ. Παιδείας, 2010):

- Η διαθεματική προσέγγιση - ώστε να αλληλοτροφοδοτείται η γνώση
- Τα σχέδια εργασίας – από το «αποστηθίζω» να περάσουμε στο «ερευνώ»
- Η διδασκαλία σε ομάδες – με στόχο το συλλογικό πνεύμα
- Η διαφοροποιημένη παιδαγωγική – που αφορά τις ανάγκες του μαθητή και όχι γενικά της τάξης.
- Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών στη διδασκαλία – που αποτελεί βασικό συντελεστή της νέας πραγματικότητας που είναι το ψηφιακό σχολείο.

Ειδικά για την αναβάθμιση του ρόλου των Φυσικών Επιστημών το Νέο Σχολείο θα πρέπει να κινηθεί προς τρεις (3) κύριες κατευθύνσεις:

- Την εισαγωγή ανακαλυπτικών διδακτικών προσεγγίσεων στη σχολική τάξη και την επέκταση του ρόλου και της χρήσης του σχολικού εργαστηρίου
- Την αποτελεσματική διασύνδεση του σχολείου με χώρους άτυπης μάθησης που προωθούν σύγχρονες παιδαγωγικές αντιλήψεις που αυξάνουν σημαντικά το ενδιαφέρον των μαθητών για την εκπαιδευτική διαδικασία και την απόκτηση νέων γνώσεων
- Την εισαγωγή στο αναλυτικό πρόγραμμα σύγχρονων επιστημονικών θεμάτων που μπορούν να αποτελούν την αφορμή για την ανάπτυξη αποτελεσματικών δεσμών ανάμεσα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο σχολείο και την επιστημονική έρευνα.

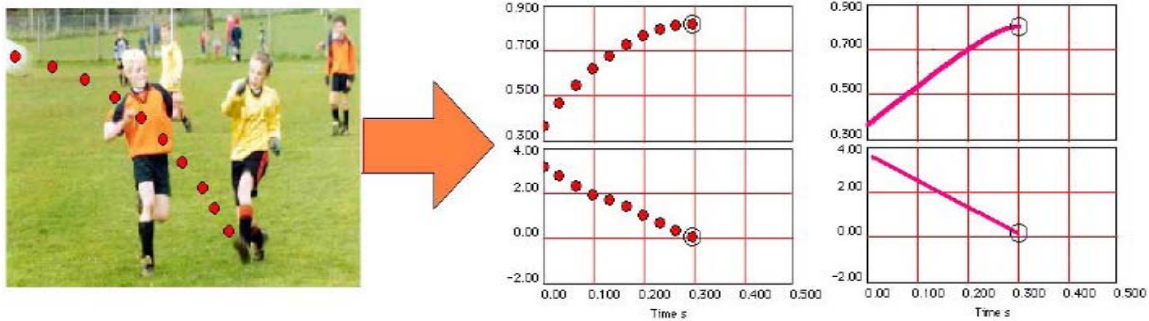
Στην παρούσα ερευνητική εργασία παρουσιάζουμε τρία σενάρια εισαγωγής προηγμένων τεχνολογικών εφαρμογών που υποστηρίζουν την υλοποίηση των παραπάνω στόχων. Στο **πρώτο σενάριο** σχεδιάζουμε και αξιολογούμε ένα φορητό σύστημα που συνδέει το μάθημα (Μηχανική) με την καθημερινή δραστηριότητα των μαθητών. Στο **δεύτερο σενάριο** σχεδιάζουμε και αξιολογούμε ένα επίσης φορητό σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας που μετατρέπει την επίσκεψη στα κέντρα επιστημών και τα μουσεία σε μία μοναδική εκπαιδευτική εμπειρία, άρρηκτα συνδεδεμένη με το αναλυτικό πρόγραμμα (Η/Μ και Ηχητικά Κύματα) . Επεκτείνουμε το σενάριο αυτό, με τη χρήση ευρυζωνικών εφαρμογών, και προτείνουμε την υλοποίηση εικονικών επισκέψεων στους χώρους αυτούς από μαθητές που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές και δεν έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν πραγματικές επισκέψεις. Στο **τρίτο σενάριο** το πείραμα της διπλής σχισμής για ηλεκτρόνια γίνεται μέρος της πειραματικής επίδειξης μέσα στην σχολική τάξη, παρουσιάζοντας έναν πρωτοποριακό τρόπο με τον οποίο οι προηγμένες τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στη εισαγωγή θεμάτων σύγχρονης Φυσικής στο αναλυτικό πρόγραμμα.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζουμε αναλυτικά τις προηγμένες τεχνολογικές εφαρμογές που υποστήριξαν την υλοποίηση των παραπάνω εκπαιδευτικών σεναρίων. Στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας μας (Κεφάλαια 4, 5 και 6) παρουσιάζονται αναλυτικά τα σενάρια εφαρμογής και η παιδαγωγική αξιολόγησή τους.

3.1 Το Εργαστήριο του Αύριο

Το πρώτο εκπαιδευτικό σενάριο βασίζεται στη χρήση του συστήματος Lab of Tomorrow στη σχολική τάξη. Το «Εργαστήριο του Αύριο»¹ (Orfanakis et.al, 2005)⁷² αποτελεί ένα εξαιρετικά καινοτόμο εκπαιδευτικό περιβάλλον που κάνει χρήση προηγμένων τεχνολογικά εφαρμογών όπως φορητοί υπολογιστές, ασύρματα δίκτυα και συστήματα ανάλυσης και μοντελοποίησης δεδομένων.

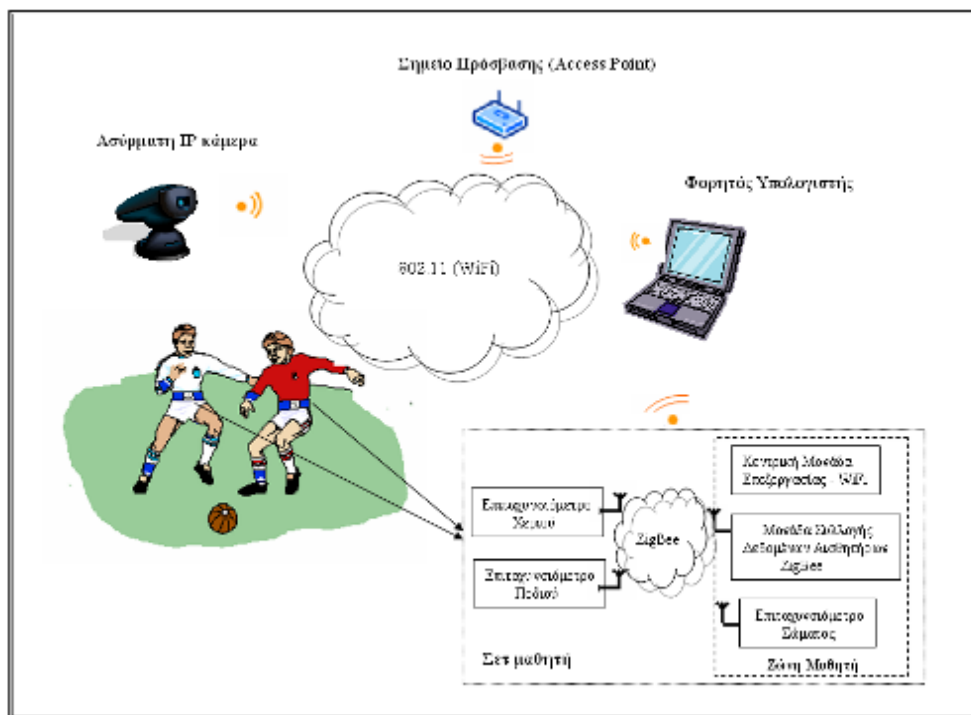
¹ Το πρόγραμμα «Εργαστήριο του Αύριο» συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας Τεχνολογίες της Κοινωνίας της Πληροφορίας του 5^{ου} Προγράμματος Πλαισίου.



Εικόνα 3.1 Το «Εργαστήριο του Αύριο» παρουσιάζει ένα μοντέλο σύνδεσης της διδασκαλίας της Φυσικής με τις καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών: Παίζοντας με μια «έξυπνη» μπάλα και φορώντας μία μπλούζα με ενσωματωμένους αισθητήρες συλλέγονται πειραματικά δεδομένα που αναλύονται στα πλαίσια εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων.

3.1.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος απεικονίζεται στην εικόνα 3.2 και περιλαμβάνει τα παρακάτω δομικά στοιχεία:



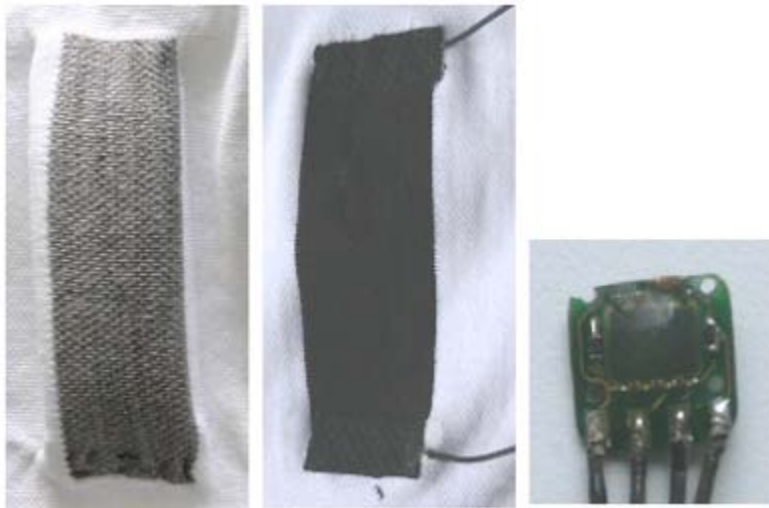
Εικόνα 3.2 Τα επιμέρους συστήματα του «Εργαστηρίου του Αύριο» παρουσιάζονται γραφικά στην εικόνα. Δεδομένα από τους αισθητήρες και τις βιντεοκάμερες μεταφέρονται ασύρματα στον υπολογιστή για να χρησιμοποιηθούν σε μία σειρά από εκπαιδευτικά σενάρια.

- Το υποσύστημα εξοπλισμού του μαθητή (Σετ Μαθητή), με αισθητήρες κίνησης και δυνατότητα διασύνδεσης στο ασύρματο δίκτυο Wi-Fi (IEEE 802.11b/g).
- Το ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο Wi-Fi (IEEE 802.11b/g).
- Την ασύρματη IP κάμερα με δυνατότητα διασύνδεσης στο ασύρματο δίκτυο Wi-Fi.
- Την Εφαρμογή λογισμικού λήψης και απεικόνισης των δεδομένων κίνησης (Διεπιφάνεια του χρήστη – User Interface) από τα Σετ Μαθητών και του βίντεο από την κάμερα. Η Εφαρμογή θα είναι εγκατεστημένη σε Φορητό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή συνδεδεμένο στο ασύρματο δίκτυο Wi-Fi.

Το σύστημα είναι δυνατόν να αποτελείται από περισσότερα του ενός Σετ Μαθητή. Κάθε τέτοιο σετ περιλαμβάνει αναλυτικά τα παρακάτω μέρη:

- α) Ασύρματος αισθητήρας επιτάχυνσης τριών αξόνων ποδιού.
- β) Ασύρματος αισθητήρας επιτάχυνσης τριών αξόνων χεριού.
- γ) Ζώνη Μαθητή η οποία ενσωματώνει τις παρακάτω μονάδες:
 - Ασύρματος αισθητήρας επιτάχυνσης τριών αξόνων σώματος.
 - Άλλους αισθητήρες (π.χ. εφίδρωση, θερμοκρασίας, καρδιακών παλμών, ρυθμού αναπνοής).
 - Μονάδα συλλογής δεδομένων από τους αισθητήρες μέσω του πρωτοκόλλου ZigBee.
 - Κεντρική μονάδα επεξεργασίας με δυνατότητα διασύνδεσης στο ασύρματο δίκτυο Wi-Fi.

Οι ασύρματοι αισθητήρες επιτάχυνσης ποδιού και χεριού είναι μικρών διαστάσεων και μικρού βάρους, έτσι ώστε να προσαρμόζονται εύκολα και με εργονομικό τρόπο στον καρπό και την κνήμη αντίστοιχα, έχοντας ενσωματωθεί σε ειδικά ελαστικά περιβραχιόνια και περικνημίδες από υποαλλεργικό υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή ελαστικών επιδέσμων, ώστε να μην προκαλεί δυσφορία στους μαθητές. Η προσαρμογή και σταθεροποίηση πραγματοποιείται με ταινία τύπου strap και προκειμένου να αντιμετωπίζονται όλες οι πιθανές περιπτώσεις όσον αφορά το μέγεθος, διατίθενται τρία μεγέθη δηλαδή small, medium και large.



Εικόνα 3.3 Οι αισθητήρες καταμέτρησης των καρδιακών παλμών, του ρυθμού αναπνοής και της θερμοκρασίας προσαρμοσμένοι στο Σετ Μαθητή.

Όσον αφορά στη Ζώνη Μαθητή, αυτή είναι μια ελαστική ζώνη που μοιάζει με θήκη πορτοφολιού η μικροαντικειμένων, αποτελείται από το ίδιο υποαλλεργικό υλικό και προσαρμόζεται γύρω από την μέση ανάλογα με τις διαστάσεις του φέροντος. Αυτή η ζώνη φέρει υποδοχές όπου τοποθετούνται εργονομικά, ώστε, οι διάφορες υπομονάδες της ζώνης όπως αυτές αναφέρονται προηγούμενα να μην ενοχλούν το ανθρώπινο σώμα στην κίνησή του.

Η βασική ιδέα λειτουργίας του συστήματος συνίσταται στα εξής :

Κάθε μαθητής που συμμετέχει στο πείραμα φορώντας το Σετ Μαθητή (την ζώνη του και τους ασύρματους αισθητήρες), αποτελεί ένα αυτόνομο - τοπικό δίκτυο τεχνολογίας ZigBee. Ταυτόχρονα αποτελεί έναν κόμβο στο ευρυζωνικό δίκτυο μεγάλης εμβέλειας Wi-Fi του όλου συστήματος. Το αυτόνομο - τοπικό δίκτυο του μαθητή ονομάζεται Δίκτυο Σώματος ή BAN από το Body Area Network. Το δίκτυο μεγάλης εμβέλειας του όλου συστήματος είναι, είτε το υπάρχον δίκτυο Wi-Fi του σχολείου είτε ένα ad-hoc δίκτυο Wi-Fi στημένο για τις ανάγκες των πειραμάτων. Ειδική μέριμνα λαμβάνεται ώστε το τοπικό δίκτυο του κάθε μαθητή να μην παρεμβάλλει στο δίκτυο του άλλου, ακόμα και αν οι μαθητές βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους.

Με την έναρξη ενός πειράματος, συνεχής ροή δεδομένων εκπέμπεται, σε πραγματικό χρόνο, με την τεχνολογία ZigBee από τους ασύρματους αισθητήρες του κάθε μαθητή. Η μονάδα συλλογής δεδομένων από τους αισθητήρες που βρίσκεται στην ζώνη του μαθητή, συλλέγει αυτά τα δεδομένα και τα κωδικοποιεί κατάλληλα. Στην συνέχεια τα προωθεί προς την κεντρική μονάδα επεξεργασίας η οποία βρίσκεται επίσης στη ζώνη του μαθητή. Από εκεί τα δεδομένα εκπέμπονται στο δίκτυο Wi-Fi του όλου συστήματος. Μέσω ενός γειτονικού Access Point, τα δεδομένα αυτά γίνονται διαθέσιμα στην εφαρμογή λογισμικού η οποία τρέχει ταυτόχρονα με το πείραμα στον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή του δικτύου.

Με τον ίδιο τρόπο, μέσω του γειτονικού της Access Point, η ψηφιακή κάμερα στέλνει και αυτή, σε πραγματικό χρόνο, την κωδικοποιημένη εικόνα της (κατά MPEG-4) στο δίκτυο. Η εφαρμογή λογισμικού συνδέει εικόνα και δεδομένα μαθητών (συγχρονισμός δεδομένων), με τρόπο ώστε να είναι δυνατή η εξέταση και ανάλυση των δραστηριοτήτων που συνέβησαν κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Συνοψίζοντας, η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε δύο ασύρματα δίκτυα:

- Το μικρής εμβέλειας δίκτυο Σώματος (BAN) με χρήση του πρωτοκόλλου ZigBee.
- Το ασύρματο μεγάλης εμβέλειας ευρυζωνικό δίκτυο Wi-Fi.

Η τεχνολογία ZigBee συνιστά μία από τις βασικές καινοτομίες του προτεινόμενου συστήματος. Η τεχνολογία αυτή είναι ένα σύνολο προδιαγραφών βασισμένη πάνω στο πρότυπο IEEE 802.15.4 για ασύρματες επικοινωνίες, λειτουργεί στην ISM ζώνη των 2.4GHz, προσανατολίζεται στις εφαρμογές χαμηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και εξασφαλίζει :

- Εξαιρετικά χαμηλές τιμές συσκευών ZigBee.
- Πολύ χαμηλή κατανάλωση.
- Ρυθμούς μετάδοσης ως 250Kbps.

Βασικές εφαρμογές της είναι οι επόμενης γενιάς αισθητήρες βιομηχανικού αυτοματισμού καθώς και οι πολλά υποσχόμενες εφαρμογές HAN (Home Access Network). Η επιλογή της τεχνολογίας ZigBee για την υλοποίηση του BAN παρέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.
- Δυνατότητα υποστήριξης περισσότερων μαθητών στο πείραμα.
- Απλοποίηση της προετοιμασίας των συσκευών πριν την λειτουργία.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία στη μεταφορά των δεδομένων, λόγω της δυνατότητας επανεκπομπών στις περιπτώσεις αποστολής εσφαλμένων πακέτων.

Το δίκτυο Wi-Fi πληροί όλες τις απαιτήσεις της αξιόπιστης λειτουργίας του συστήματος (διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων από τους αισθητήρες διαφορετικών μαθητών που συμμετέχουν στη δραστηριότητα, καθώς και εικόνας από την ασύρματη βιντεοκάμερα) ενώ

ταυτόχρονα αποτελεί μία πολύ διαδεδομένη τεχνολογία. Με τη χρήση του, προκύπτουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα :

- Μεγάλη αύξηση του ρυθμού δεδομένων (2Mbps).
- Αξιοπιστία λόγω δυνατότητας επανεκπομπών στις περιπτώσεις ανίχνευσης λαθών.
- Ο εξοπλισμός για την εγκατάσταση ενός δικτύου Wi-Fi έχει χαμηλό κόστος.

Τέλος, στον Φορητό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το λογισμικό συλλογής και απεικόνισης δεδομένων (κίνησης και βίντεο/εικόνας). Πρόκειται για μία εφαρμογή Windows σε γλώσσα C++ και χρησιμοποιεί ειδικές βιβλιοθήκες απεικόνισης γραφικών παραστάσεων σε πραγματικό χρόνο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογιστής δεν χρειάζεται να βρίσκεται ο ίδιος στον χώρο διεξαγωγής του πειράματος αλλά μπορεί να είναι οπουδήποτε, αρκεί να βρίσκεται σε σημείο που να καλύπτεται από το ασύρματο δίκτυο Wi-Fi. Στην περίπτωση που το ασύρματο δίκτυο συνδέεται στο τοπικό ενσύρματο δίκτυο του σχολείου, τότε ο υπολογιστής μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε συνδεδεμένος στο ενσύρματο δίκτυο.

Για την παρουσίαση, την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφονται με τα διάφορα εργαλεία έχει αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό αυτό είναι μία πλήρης πλατφόρμα διαχείρισης, ανάλυσης και παιδαγωγικής αξιοποίησης των πειραματικών δεδομένων. Η πλατφόρμα περιέχει το υλικό της παιδαγωγικής προσέγγισης, τα εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων καθώς και εργαστηριακές ασκήσεις βασισμένες στις πειραματικές δραστηριότητες.

3.2 Ένα Εικονικό Κέντρο Επιστημών

Η εφαρμογή των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων του δεύτερου εκπαιδευτικού σεναρίου βασίστηκε στη χρήση ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας το οποίο έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του ερευνητικού έργου CONNECT² (Sotiriou et al. 2006)⁷³. Το σύστημα αυτό παρέχει στον εκπαιδευτικό τη δυνατότητα να σχεδιάζει και να παρουσιάζει εκπαιδευτικό περιεχόμενο στο οπτικό πεδίο των μαθητών, όταν οι τελευταίοι βρίσκονται σε έναν προκαθορισμένο χώρο γύρω από το αντίστοιχο έκθεμα που παρουσιάζει το υπό μελέτη φυσικό φαινόμενο (Εικόνα 3.4).

3.2.1 Το σύστημα Επαυξημένης Πραγματικότητας

Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να βιώσουν τα φυσικά φαινόμενα παρουσιάζοντας επιπρόσθετη πληροφορία (εικόνα, βίντεο, προσομοίωση, κείμενο) στο οπτικό τους πεδίο όταν βρίσκονται μπροστά σε ένα έκθεμα. Το σύστημα αποτελείται από α) ένα ζευγάρι γυαλιά, στα οποία έχει προσαρμοστεί μία μικρή οθόνη προβολής και μία μικρή κάμερα (Εικόνα 3.5, αριστερά), β) ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού και γ) έναν μικρό υπολογιστή που σε πραγματικό χρόνο λαμβάνει την εικόνα από την κάμερα, την πληροφορία για τη θέση και τον προσανατολισμό του επισκέπτη και καθορίζει με βάση αυτό την εικόνα που προβάλλεται στην οθόνη προβολής των γυαλιών του επισκέπτη της έκθεσης (Εικόνα 3.5, κέντρο). Οι βασικές λειτουργίες του συστήματος συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Καθορισμός της θέσης του μαθητή στο χώρο και του προσανατολισμού της κεφαλής του.
- Παρουσίαση της πραγματικής εικόνας εμπλουτισμένης με επιπρόσθετες εικόνες

² Το πρόγραμμα CONNECT συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας Τεχνολογίες της Κοινωνίας της Πληροφορίας του 6^{ου} Προγράμματος Πλαισίου

- Παρουσίαση εικονικών αντικειμένων (2-διάστατες και 3-διάστατες απεικονίσεις και προσομοιώσεις, αναπαραστάσεις φυσικών φαινομένων με εικόνες, ήχο, βίντεο και κείμενο) στο οπτικό πεδίο του μαθητή



Εικόνα 3.4 Όταν ο επισκέπτης της έκθεσης, φορώντας το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, βρεθεί σε έναν προκαθορισμένο χώρο μπροστά από το κάθε έκθεμα (φωτισμένες κωνικές περιοχές στην εικόνα αριστερά), επιπρόσθετη πληροφορία (εικόνα, βίντεο, προσομοίωση, κείμενο) παρουσιάζεται στο οπτικό του πεδίο (εικόνα δεξιά). Στο πλαίσιο της εργασίας, αυτή η πληροφορία που γίνεται διαθέσιμη αφορά σε εκπαιδευτικό υλικό που είχε προετοιμαστεί από τους εκπαιδευτικούς και τους παιδαγωγούς του μουσείου που συμμετείχαν στο σχεδιασμό των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων.

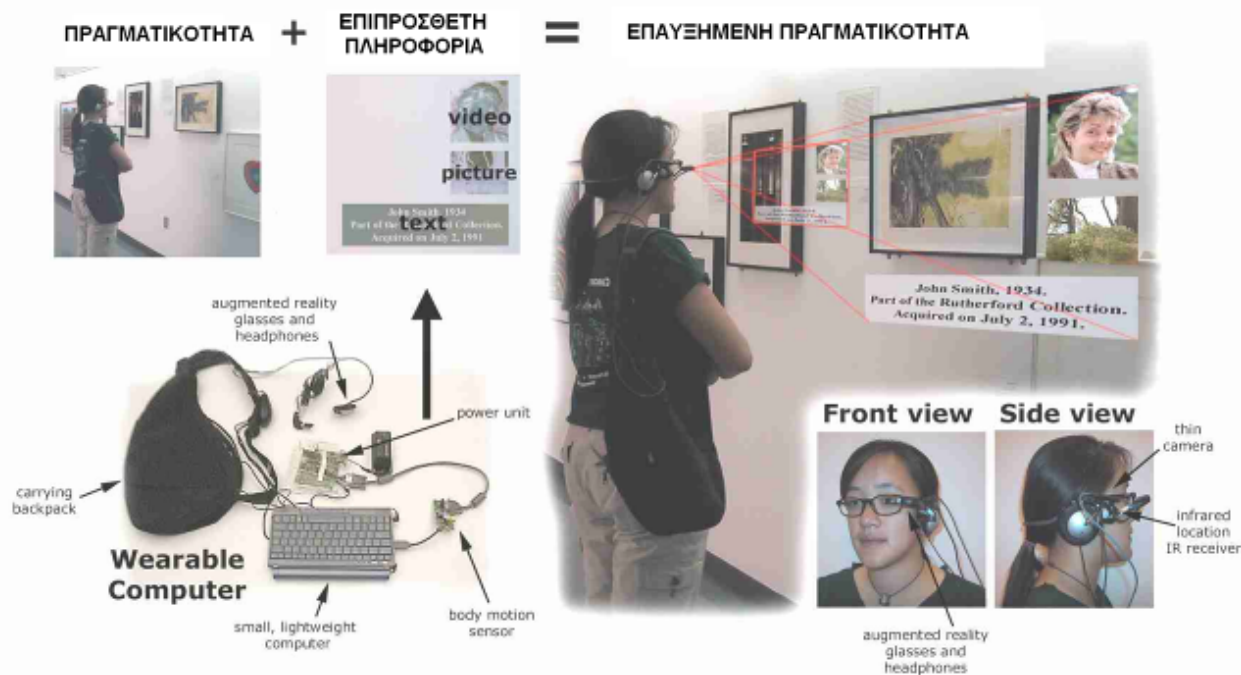


Εικόνα 3.5 Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας φοριέται από το χρήστη και περιλαμβάνει ένα προηγμένο οπτικό σύστημα και ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού (αριστερά) που ελέγχονται από έναν μικρό επεξεργαστή (δεξιά) που προσαρτάται στη ζώνη του επισκέπτη (κέντρο).

- Υποστήριξη της αλληλεπίδρασης του μαθητή με το έκθεμα υπό μελέτη
- Καταγραφή των αλληλεπιδράσεων του μαθητή με το σύστημα (π.χ. το σύστημα αναγνωρίζει σε ποια περιοχή του Η/Μ φάσματος στρέφει το κεφάλι του ο μαθητής).
- Έλεγχος βασικών παραμέτρων του εκθέματος ή του υπό μελέτη πειράματος.

- Συλλογή πειραματικών δεδομένων και μετρήσεων με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων που επικοινωνούν ασύρματα με το σύστημα.
- Καταγραφή (μέσω βίντεο) ολόκληρη της διαδικασίας και αποθήκευση του υλικού για περαιτέρω χρήση.
- Ζωντανή αναμετάδοση της εικόνας μέσω ασύρματης σύνδεσης ώστε να υποστηρίζονται και οι απομακρυσμένοι επισκέπτες.
- Υποστήριξη ακουστικής επικοινωνίας ανάμεσα στον χρήστη και τους απομακρυσμένους επισκέπτες.

Η αλληλεπίδραση του συστήματος με το χρήστη πραγματοποιείται με τη χρήση ενός ασύρματου «ποντικιού». Μέσω αυτού ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιεί τις επιλογές του και να εκτελεί μία σειρά πειραματικών διαδικασιών και να συλλέγει τα σχετικά δεδομένα.



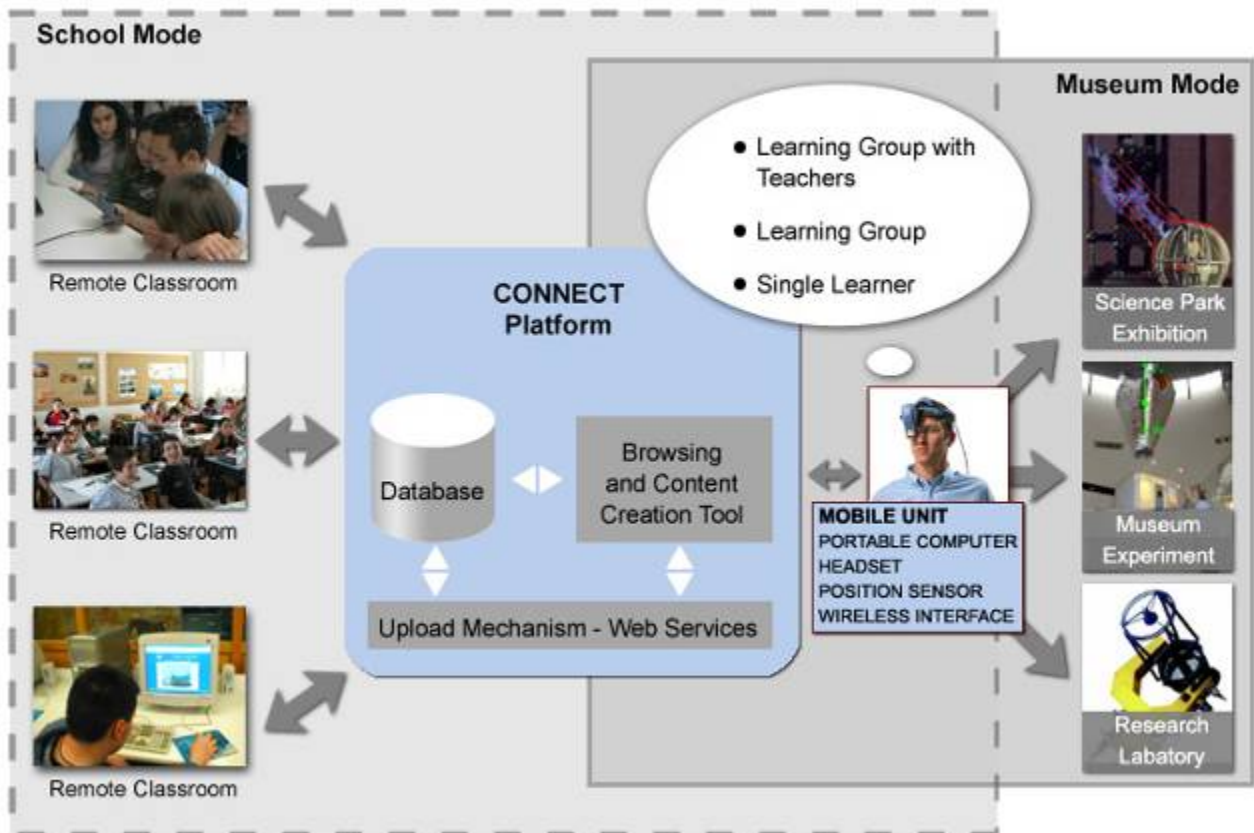
Εικόνα 3.6 Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να προσδιορίζει την ακριβή θέση του επισκέπτη της έκθεσης αλλά και τον προσανατολισμό της κεφαλής του, έτσι ώστε να παρουσιάζει στο οπτικό του πεδίο το προεπιλεγμένο περιεχόμενο.

Το οπτικό σύστημα αποτελείται είτε από ένα ζευγάρι γυαλιών που παρουσιάζουν σε πραγματικό χρόνο την εικόνα που λαμβάνει η κάμερα που είναι προσαρμοσμένη επάνω τους, είτε από έναν μονό φακό-οθόνη επάνω στην οποία παρουσιάζεται η επιπρόσθετη φωτογραφία. Στην πρώτη περίπτωση η εικόνα λαμβάνεται από την κάμερα και προβάλλεται στα γυαλιά που φοράει ο χρήστης. Στη δεύτερη περίπτωση ο χρήστης βλέπει απευθείας την πραγματική εικόνα. Σε κάθε περίπτωση η επιπρόσθετη κάμερα είναι απαραίτητη για να λαμβάνει την εικόνα που αποστέλλεται στους απομακρυσμένους χρήστες. Επάνω στο οπτικό σύστημα είναι προσαρμοσμένο και ένας αδρανειακός αισθητήρας καταγραφής της περιστροφικής κίνησης της κεφαλής και μία δεύτερη κάμερα που υποστηρίζει τον ακριβή προσδιορισμό θέσης της κεφαλής του χρήστη (Εικόνα 3.6). Η κάμερα αυτή εντοπίζει ασπρόμαυρους σχηματισμούς που είναι

τυπωμένοι σε χαρτί και τοποθετημένοι σε διαφορετικά σημεία του εκθέματος, λειτουργώντας ως σημεία αναφοράς για τον καθορισμό της θέσης της κεφαλής. Καθώς η θέση αυτών των σημείων αναφοράς είναι εξ αρχής γνωστές, το σύστημα μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια τη σχετική θέση του χρήστη ως προς το έκθεμα. Το σύστημα λειτουργεί σωστά μόνο όταν τουλάχιστον δύο σημεία αναφοράς είναι ορατά από την κάμερα. Επομένως ο χώρος αλληλεπίδρασης με το έκθεμα περιορίζεται σε μία περιοχή αρκετά κοντά στο έκθεμα (Εικόνα 3.4, αριστερά). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ανάλογα με την απόσταση που βρίσκεται ο χρήστης από το έκθεμα διαφοροποιείται και ο βαθμός των λεπτομερειών που λαμβάνει σχετικά με το υπό μελέτη φυσικό φαινόμενο.

3.2.2 Το Εικονικό Κέντρο Επιστημών

Το σύστημα υποστηρίζεται από μία προηγμένη διαδικτυακή εφαρμογή, που ονομάζεται Εικονικό Κέντρο Επιστημών, η οποία βοηθά τον χρήστη να σχεδιάσει περιεχόμενο σχετικό με το κάθε έκθεμα, να οργανώνει το περιεχόμενο που έχει σχεδιάσει ή αυτό που του παρέχουν τα μουσεία και τα κέντρα επιστημών, ώστε να μπορεί εύκολα να το χρησιμοποιεί στο μάθημα του αλλά και ταυτόχρονα να μοιράζεται το περιεχόμενο αυτό με άλλους χρήστες στην Ελλάδα και το εξωτερικό.



Εικόνα 3.7. Το Εικονικό Κέντρο Επιστημών υποστηρίζει τη δημιουργία, την οργάνωση, την αναζήτηση και την αποθήκευση του εκπαιδευτικού περιεχομένου. Μέσω της πλατφόρμας ο εκπαιδευτικός μπορεί να «φορτώσει» το περιεχόμενο που έχει σχεδιάσει στο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, ώστε ο μαθητής να έχει στη διάθεση του την επιπρόσθετη πληροφορία που θα τον/την βοηθήσει να κατανοήσει καλύτερα τα υπό μελέτη φυσικά φαινόμενα.

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες του συστήματος που περιγράφηκαν αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα γίνεται κατανοητό πως ο σχεδιαστής και δημιουργός του εκπαιδευτικού

περιεχομένου έχει πληθώρα δυνατοτήτων ώστε να παρέχει την κατάλληλη πληροφορία την κατάλληλη στιγμή. Η συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος και της διαδικτυακής εφαρμογής παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 3.7. Το Εικονικό Κέντρο Επιστημών υποστηρίζει την αναζήτηση, τη δημιουργία, την οργάνωση και την αποθήκευση του εκπαιδευτικού περιεχομένου που σχεδιάζουν οι εκπαιδευτικοί με στόχο να «συνδέσουν» τις εκπαιδευτικές επισκέψεις στα μουσεία και τα κέντρα επιστημών με το αναλυτικό πρόγραμμα του σχολείου προσβλέποντας στην ανάπτυξη μίας πιο αποτελεσματικής εκπαιδευτικής διαδικασίας που συνδυάζει την τυπική και άτυπη μάθηση και γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα στο σχολείο και το μουσείο ή το κέντρο επιστημών.

Το εκπαιδευτικό περιεχόμενο που παρουσιάζεται στο οπτικό πεδίο του επισκέπτη σχεδιάζεται και δημιουργείται με τη βοήθεια μίας «εργαλειοθήκης», μέσω της οποίας ο δημιουργός του εκπαιδευτικού σεναρίου μπορεί να προσομοιώσει φυσικά φαινόμενα και μεγέθη μέσω βασικών τρισδιάστατων αντικειμένων (Εικόνα 3.8).

Ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να ορίσει μία σειρά από «συνθήκες» που θα καθορίσουν πότε, που και με ποιο τρόπο το περιεχόμενο θα παρουσιαστεί στον μαθητή. Στην ουσία ο εκπαιδευτικός καλείται να σχεδιάσει μία σειρά από «στιγμιότυπα» της εκπαιδευτικής επίσκεψης, που αναφέρονται σε διαφορετικές δραστηριότητες και επιλογές των μαθητών. Σε κάθε ένα από τα «στιγμιότυπα» αυτά διαφορετικό περιεχόμενο παρουσιάζεται στον μαθητή. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να προσθέσει κείμενα, φωτογραφίες, προσομοιώσεις, ήχο και βίντεο που θα βοηθήσουν τον μαθητή στην κατανόηση των φυσικών νόμων που διέπουν το φαινόμενο που παρουσιάζει το αντίστοιχο έκθεμα. Μπορεί μάλιστα να προσφέρει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης του μαθητή με το έκθεμα (μέσω του συστήματος) θέτοντας για παράδειγμα ερωτήσεις μετά από κάποια συγκεκριμένη επιλογή του μαθητή ή καθοδηγώντας τον όταν ο εκπαιδευτικός το κρίνει απαραίτητο. Όταν ολοκληρωθεί η προετοιμασία του εκπαιδευτικού σεναρίου, το περιεχόμενο αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων του συστήματος και ο χρήστης μπορεί να το ανασύρει όποτε το χρειαστεί.



Εικόνα 3.8. Το περιβάλλον προετοιμασίας των εκπαιδευτικών σεναρίων παρουσιάζει τις εικόνες των εκθεμάτων της έκθεσης του μουσείου ή του κέντρου επιστημών, επάνω στις οποίες ο εκπαιδευτικός μπορεί να σχεδιάσει τον τρόπο με τον οποίο επιθυμεί να παρουσιάσει το περιεχόμενο στους μαθητές του. Στην εικόνα διακρίνονται δύο εκθέματα (H/M φάσμα και κάτοπτρα του ήχου) τα οποία επιλέγησαν για την εφαρμογή του προγράμματος με τους μαθητές της Β' και της Γ' Λυκείου.

Το Εικονικό Κέντρο Επιστημών υποστηρίζει τον εκπαιδευτικό να οργανώσει τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες σε 3 φάσεις. Στην πρώτη φάση οργανώνει τις δραστηριότητες που θα λάβουν χώρα στη σχολική τάξη πριν την επίσκεψη (Εικόνα 3.9).

Εργαλείο Δημιουργίας Διαδρομών Προβολή Εργαλείο Δημιουργίας Διαδρομών & την Πύλη OSR

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
Επιλέξτε μία από τις φάσεις για να δείτε τις σχετικές δραστηριότητες:

Εισαγωγή Πριν την επίσκεψη Επίσκεψη Μετά την επίσκεψη

Πριν την επίσκεψη

Πρόκληση της περιέργειας
Προετοιμασία εργαλείων με βάση την επιστήμη, γλώσσα
Πρώτη παρουσίαση των ρημάτων κίνησης και αλλαγής
Πρόκληση σε υλοποίηση οπλής δραστηριότητας

Πρόκληση της περιέργειας

Προετοιμασία εργαλείων με βάση την επιστήμη, γλώσσα

Πρώτη παρουσίαση των ρημάτων κίνησης και αλλαγής

Πρόκληση σε υλοποίηση οπλής δραστηριότητας

Τι σχέση έχουν τα οπασημικά ηλεασκόπια, η ταινία «Αόρατο άγγιγμα» και ένας μηχανικός; Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συσκευές για να δούμε εικόνες που τα μάτια μας δεν βλέπουν :

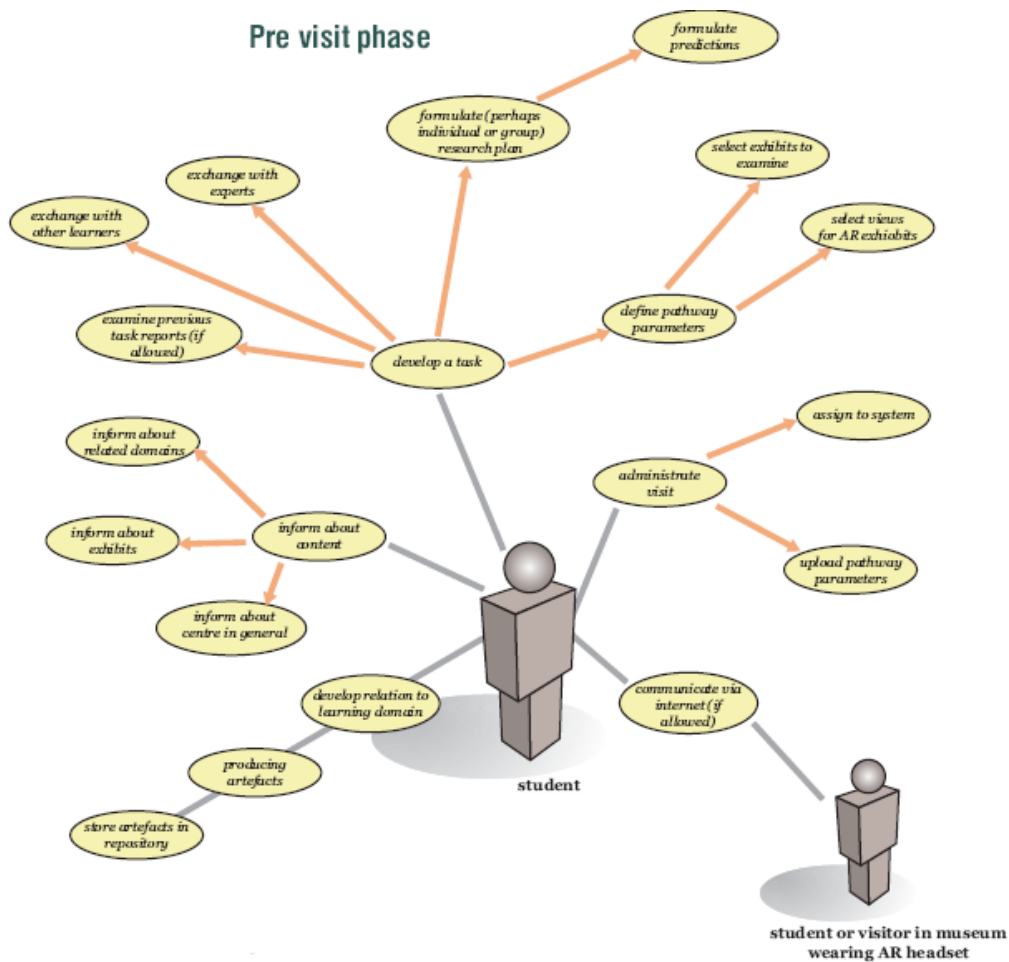
- Τα οπασημικά ηλεασκόπια χρησιμοποιούν κάμερες για να ανιχνεύσουν ακτινοβολία σε μη ορατά μήκη κύματος από το μακρινό διάστημα.
⇒ Ο εκπαιδευτικός ενημερώνει τους μαθητές ότι τα εντυπωσιακά αντικείμενα που βλέπουμε σε εικόνες από το διάστημα δεν είναι στην πραγματικότητα πάντα ορατά στο γυμνό μάτι αλλά πολλές φορές είναι κατάλληλα επεξεργασμένες εικόνες έτσι ώστε να μπορούμε να δούμε τα αντικείμενα αυτά.
- Οι ηθοποιοί στην ταινία χρησιμοποιούν θερμικές κάμερες για να δουν τον αόρατο άνθρωπο και τα αόρατα ζώα.
- Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν θερμικές κάμερες για να ανιχνεύσουν πηγές απώλειας θερμότητας σε οχήματα και άλλες εγκαταστάσεις.

Υποστηρικτικό υλικό

Εικόνα 3.9. Το περιβάλλον προετοιμασίας των εκπαιδευτικών σεναρίων καθοδηγεί τον εκπαιδευτικό βήμα-βήμα στην προετοιμασία του εκπαιδευτικού σεναρίου. Όπως και στην περίπτωση της διδασκαλίας των θεμάτων της Μηχανικής που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, και εδώ, η εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθείται βασίζεται στο ανακαλυπτικό μοντέλο, το οποίο προσαρμόζεται στις ανάγκες μίας διευρυμένης εκπαιδευτικής δραστηριότητας όπως η επίσκεψη σε ένα μουσείο.

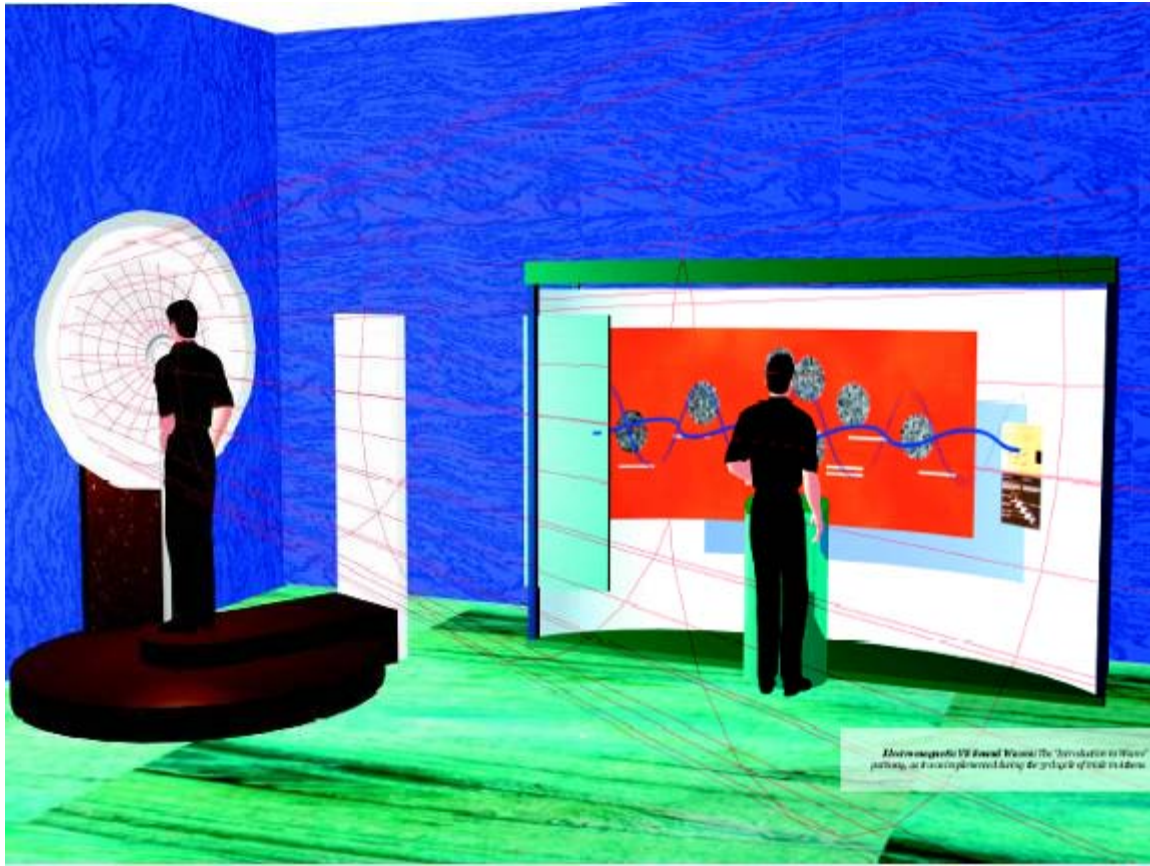
Στο πλαίσιο αυτών των δραστηριοτήτων οι μαθητές προετοιμάζονται για την επίσκεψη, συζητούν για τα φυσικά φαινόμενα που θα μελετήσουν, παρουσιάζουν τις απόψεις τους που προέρχονται από τις προσωπικές τους καθημερινές εμπειρίες. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να χρησιμοποιήσει την βάση δεδομένων του Εικονικού Κέντρου Επιστημών για να παρουσιάσει φωτογραφίες, προσομοιώσεις, βίντεο σχετικών φαινομένων ή δραστηριοτήτων σε μία προσπάθεια να εντοπίσει τις πιθανές λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών έτσι ώστε να επικεντρώσει σε αυτές το σχεδιασμό των δραστηριοτήτων της δεύτερης φάσης που θα λάβουν χώρα κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στην έκθεση του μουσείου ή του κέντρου επιστημών. Στην πρώτη φάση επίσης, ο εκπαιδευτικός θα σχεδιάσει αναλυτικά τις δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της επίσκεψης μέσω του περιβάλλοντος προετοιμασίας των εκπαιδευτικών σεναρίων (Εικόνα 3.9). Εάν προβλέπεται να εκτελεστούν πειράματα, ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να προετοιμάσει τα αντίστοιχα φύλλα εργασίας που θα χρησιμοποιηθούν από τους μαθητές.

Θα πρέπει να παρουσιάσει μία σειρά ερωτήσεων που θα υποβληθούν στους μαθητές και να σχεδιάσει την προσέγγιση που θα ακολουθηθεί για την κατανόηση των υπό μελέτη φυσικών φαινομένων. Επίσης θα αποφασίσει σχετικά με το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί και θα παρουσιαστεί στους μαθητές κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στα συγκεκριμένα εκθέματα. Και σε αυτή την περίπτωση ο εκπαιδευτικός μπορεί να χρησιμοποιήσει υλικό που έχουν σχεδιάσει άλλοι συνάδελφοι στο παρελθόν χρησιμοποιώντας τους μηχανισμούς αναζήτησης του Εικονικού Κέντρου Επιστημών. Στην Εικόνα 3.10 παρουσιάζεται η ανάλυση όλων των δραστηριοτήτων μαθητών και εκπαιδευτικών που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα.



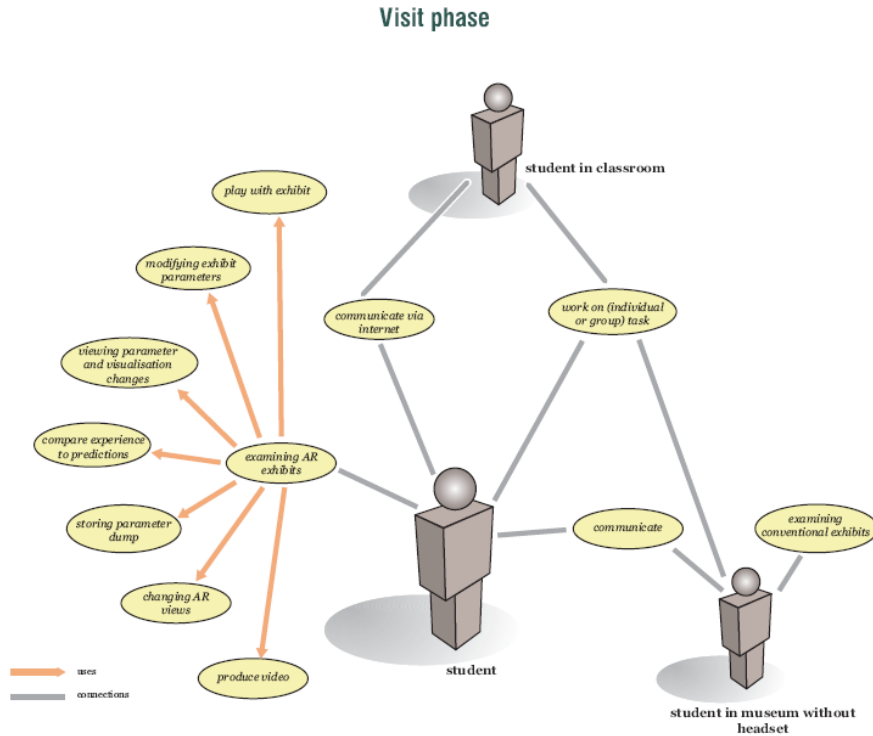
Εικόνα 3.10 Ανάλυση των δραστηριοτήτων εκπαιδευτικών και μαθητών που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα στη φάση που προηγείται της εκπαιδευτικής επίσκεψης στο μουσείο ή στο κέντρο επιστημών.

Στην επόμενη φάση πραγματοποιείται η επίσκεψη στο μουσείο ή το κέντρο επιστημών. Η επίσκεψη μπορεί να πραγματοποιηθεί και εικονικά όπως θα παρουσιάσουμε αναλυτικά στη συνέχεια για την περίπτωση απομακρυσμένων σχολείων. Στη φάση αυτή το σενάριο και οι δραστηριότητες που έχουν σχεδιαστεί από τον εκπαιδευτικό παρουσιάζονται στους μαθητές μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (Εικόνα 3.11). Οι μαθητές βήμα-βήμα εκτελούν το προκαθορισμένο σενάριο, τα σχετικά πειράματα, συγκεντρώνουν δεδομένα και απαντούν σε ερωτήσεις που τους θέτει ο εκπαιδευτικός.



Εικόνα 3.11 Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας προσφέρει στον χρήστη μοναδικές εμπειρίες που αυξάνουν σημαντικά το ενδιαφέρον των μαθητών που το χρησιμοποιούν. Οι μαθητές αλληλεπιδρώντας με το έκθεμα μέσω του συστήματος, μπορούν να έχουν πρόσβαση σε περιεχόμενο που έχει σχεδιαστεί από τους εκπαιδευτικούς ειδικά για το συγκεκριμένο έκθεμα και το φαινόμενο που περιγράφει.

Οι μαθητές βιώνουν με αυτό τον τρόπο φαινόμενα, όπως η μετάδοση του Η/Μ κύματος, που είναι άορατα και πολλές φορές αρκετά δύσκολα να κατανοηθούν από το σύνολο των μαθητών. Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας προσφέρει μοναδικές εμπειρίες στους χρήστες δίνοντας τους την ευκαιρία να περπατούν ανάμεσα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, στα μόρια του μέσου, να εκτελούν πειράματα και να βλέπουν την επίδραση των επιλογών τους στο υπό μελέτη σύστημα. Η αναλυτική παρουσίαση των δραστηριοτήτων στις οποίες μπορούν να εμπλακούν οι μαθητές φαίνεται στην Εικόνα 3.12 ενώ στην εικόνα 3.13 παρουσιάζεται το περιβάλλον προετοιμασίας της συγκεκριμένης δραστηριότητας, το οποίο περιέχει το σχετικό υλικό που έχει αναρτηθεί από τον εκπαιδευτικό και είναι διαθέσιμο προς χρήση από τους μαθητές που επισκέπτονται το έκθεμα.



Εικόνα 3.12
 Ανάλυση των δραστηριοτήτων εκπαιδευτικών και μαθητών που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα στη φάση της εκπαιδευτικής επίσκεψης στο μουσείο ή στο κέντρο επιστημών.

Εικόνα 3.13 Το περιβάλλον προετοιμασίας των εκπαιδευτικών σεναρίων προσφέρει αναλυτικές οδηγίες για την πραγματοποίηση της επίσκεψης, πρόσβαση σε σχετικό υλικό (ακόμη και από άλλα μουσεία ή εκπαιδευτικά αποθετήρια), προτεινόμενες δραστηριότητες, όπως ασκήσεις και σχετικά πειράματα, επεξηγηματικό οπτικοακουστικό υλικό και γενικότερα οποιαδήποτε ψηφιακή πηγή κρίνει ο εκπαιδευτικός ότι θα βοηθήσει τους μαθητές του να κατανοήσουν καλύτερα τα υπό μελέτη φαινόμενα.

Εργαλείο Δημιουργίας Διαδρόμων Προβολή Εργαλείο Δημιουργίας Διαδρόμων & την Πύλη OSR

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
 Επιλέξτε μία από τις φάσεις για να δείτε τις σχετικές δραστηριότητες:

Εισαγωγή

Πριν την επίσκεψη

Επίσκεψη

Μετά την επίσκεψη

Επίσκεψη

Συλλογή αποδεικτικών στοιχείων μέσω παρατήρησης

Επίσκεψη > Δημιουργία

Συλλογή αποδεικτικών στοιχείων μέσω παρατήρησης

- Η τάξη επισκέπτεται το **έκθεμα B5** στο "Γέφυρα Ευγενίδου".
- Κάθε ομάδα με την σειρά της χρησιμοποιεί το έκθεμα για να εξοικειωθεί με το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και με βάση την πληροφορία που τους έχει δοθεί βρίσκουν για ποια ακτινοβολία πρέπει να μαζέψουν πληροφορίες.

Καθώς οι ομάδες περιμένουν την σειρά τους για να χρησιμοποιήσουν το έκθεμα μπορούν να ξεκινήσουν την έρευνά τους χρησιμοποιώντας συσκευές PDA.

⇒ Παρόλο που το διαδίκτυο είναι πολύ καλύτερη πηγή πληροφόρησης από το έκθεμα, το δεύτερο έχει το υπέρ της για άμεση αλληλεπίδραση με τους μαθητές και το κέρθισμα που προσφέρει είναι πιο έντονο.

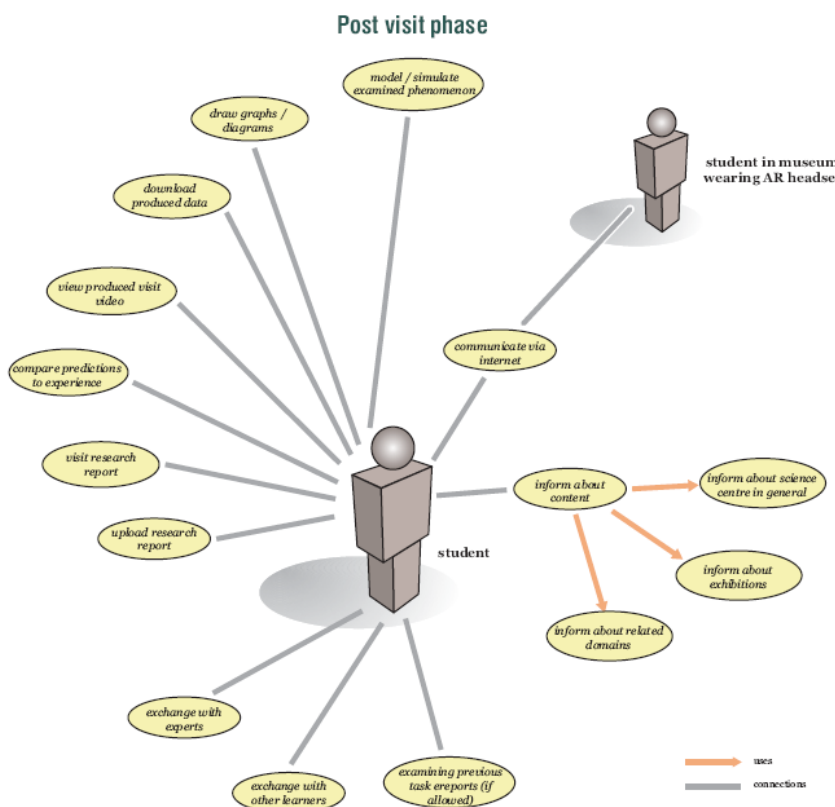
- Αφού οι μαθητές χρησιμοποιήσουν το έκθεμα, με τις συσκευές PDA μπαίνουν στην βιβλιοθήκη του OSR και στην ειδική εφαρμογή για το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και σε όποιο άλλο ιστοτόπο θέλουν προκειμένου να συλλέξουν πληροφορίες για την ακτινοβολία που τους ενδιαφέρει.

- Οι μαθητές συγκεντρώνουν τα ευρήματά τους και τα οργανώνουν σε μια μικρή παρουσίαση. (Ο εκπαιδευτικός πρέπει να τονίσει ότι οι παρουσιάσεις πρέπει να είναι το πολύ 5 λεπτά.)

⇒ Το να συλλέγουν οι μαθητές μόνοι τους πληροφορίες αντί να τους δίνονται έτοιμες είναι εξαιρετικής σημασίας. Με αυτό τον τρόπο οι μαθητές παραμένουν προσηλωμένοι στον ακαπό τους, τους βοηθά να βελτιώσουν την κριτική τους ικανότητα και μαθαίνουν να στηρίζονται μόνο στις δυνάμεις τους και να μην επαναπαύονται στο ότι θα τους δοθούν όλα έτοιμα.

Υποστηρικτικό υλικό

Στην τρίτη και τελευταία φάση του εκπαιδευτικού σεναρίου οι δραστηριότητες οργανώνονται και πάλι στη σχολική αίθουσα. Η φάση αυτή ακολουθεί την επίσκεψη στο μουσείο ή το κέντρο επιστημών. Εδώ ο εκπαιδευτικός συζητά με τους μαθητές σχετικά με την επίσκεψη, αναλύουν τα πειραματικά δεδομένα και καταγράφουν τις εμπειρίες που αποκόμισαν. Ειδικό βάρος αφιερώνεται στη φάση αυτή από τον εκπαιδευτικό στη διερεύνηση του κατά πόσο η επίσκεψη και η χρήση της συγκεκριμένης προσέγγισης επέδρασε στην καταπολέμηση των λανθασμένων αντιλήψεων των μαθητών. Η αποτελεσματικότητα της προσέγγισης μετριέται τόσο με ποσοτικά, όσο και με ποιοτικά δεδομένα τα οποία συλλέγονται με τη βοήθεια σειράς εργαλείων, όπως ερωτηματολόγια, δομημένες ή ημι-δομημένες συνεντεύξεις και βιντεοσκοπήσεις των δραστηριοτήτων. Η αναλυτική παρουσίαση των δραστηριοτήτων στις οποίες μπορούν να εμπλακούν οι μαθητές φαίνεται στην Εικόνα 3.14. Η Εικόνα 3.15 παρουσιάζει το περιβάλλον εργασίας του εκπαιδευτικού που περιλαμβάνει όλο το σχετικό υλικό.



Εικόνα 3.14 Ανάλυση των δραστηριοτήτων εκπαιδευτικών και μαθητών που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα στη φάση που ακολουθεί την εκπαιδευτική επίσκεψη στο μουσείο ή στο κέντρο επιστημών.

Η δραστηριότητα μπορεί να αποθηκευθεί στην πλήρη της μορφή (που περιλαμβάνει και την βιντεοσκοπημένη δραστηριότητα της επίσκεψης στο μουσείο αλλά και όλο το σχετικό υλικό προετοιμασίας) στο ψηφιακό αποθετήριο του μουσείου και να είναι διαθέσιμη σε κάθε ενδιαφερόμενο εκπαιδευτικό που επιθυμεί να εφαρμόσει μία παρόμοια προσέγγιση κατά τη διάρκεια της επίσκεψης του στο μουσείο. Οι δραστηριότητες αυτές, οργανωμένες στις αντίστοιχες θεματικές περιοχές του αναλυτικού προγράμματος και συνδεδεμένες με την ψηφιακή αναπαράσταση των εκθεμάτων στην ιστοσελίδα ή το ψηφιακό αποθετήριο του μουσείου αποτελούν εξαιρετικό υλικό για την αποτελεσματική διασύνδεση του σχολείου με το μουσείο αλλά και για την ανάπτυξη κοινοτήτων μάθησης που αλληλεπιδρούν μέσω του ψηφιακού υλικού που συνεισφέρουν τα μέλη της κοινότητας στο ψηφιακό αποθετήριο. Με τον τρόπο αυτό το ψηφιακό υλικό επαναχρησιμοποιείται, εκπαιδευτικές δραστηριότητες προτείνονται, δοκιμάζονται και βελτιώνονται ενώ οι εκπαιδευτικοί βελτιώνουν τις εκπαιδευτικές τους προσεγγίσεις και αναβαθμίζουν την προσφερόμενη στους μαθητές εκπαίδευση.

Εργαλείο Δημιουργίας Διαδρομών Προβολή Εργαλείο Δημιουργίας Διαδρομών β. την Πύλη OSR

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
Επιλέξτε μία από τις φάσεις για να δείτε τις σχετικές δραστηριότητες:

Εισαγωγή Πριν την επίσκεψη Επίσκεψη Μετά την επίσκεψη

Post-Visit

Παράση εισηγήσεων

Ανασκόπηση της επίσκεψης

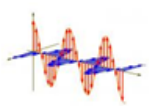
Ανασκόπηση της επίσκεψης

Post-Visit > Ανασκόπηση

Έκφραση εξηγήσεων

Οι μαθητές κάνουν μια ανασκόπηση όσων έμαθαν:

- επαναλαμβάνουν με την σειρά τις ακτινοβολίες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και αναφέρουν κάποια εφαρμογή της καθέμιας στην καθημερινή μας ζωή.
- κουβεντιάζουν πως προκύπτει αυτή η σειρά των ακτινοβολιών
- συζητούν πιο ήταν το πιο εντυπωσιακό πράγμα που έμαθαν.



Ο εκπαιδευτικός:

- Εξηγεί πως οι επιστήμονες ανακάλυψαν ότι το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται και πέρα από το ορατό φως.
- Ενθαρρύνει τους μαθητές για κάποια ενδιαφέροντα φαινόμενα όπως το φαινόμενο Doppler και την τρύπα του όζοντος.
- Απαντά σε τυχόν απορίες των μαθητών.

Υποστηρικτικό υλικό

Εικόνα 3.15 Μετά την επίσκεψη στο μουσείο το διαδικτυακό περιβάλλον προσφέρει πρόσβαση στο υλικό που έχει συγκεντρωθεί λειτουργώντας ως βιβλίο αναφοράς (logbook). Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να ανατρέξουν στο υλικό της επίσκεψης, να βελτιώσουν το πλάνο δραστηριοτήτων σύμφωνα με την εμπειρία που απέκτησαν ή με βάση τα σχόλια συναδέλφων ή παιδαγωγών του μουσείου που επισκέφτηκαν. Τώρα το διαδικτυακό περιβάλλον μετατρέπεται σε πλατφόρμα κοινωνικής δικτύωσης με σημείο αναφοράς την επίσκεψη στο μουσείο.

3.3 Εικονικές Επισκέψεις σε μουσεία και κέντρα διάδοσης της Επιστήμης

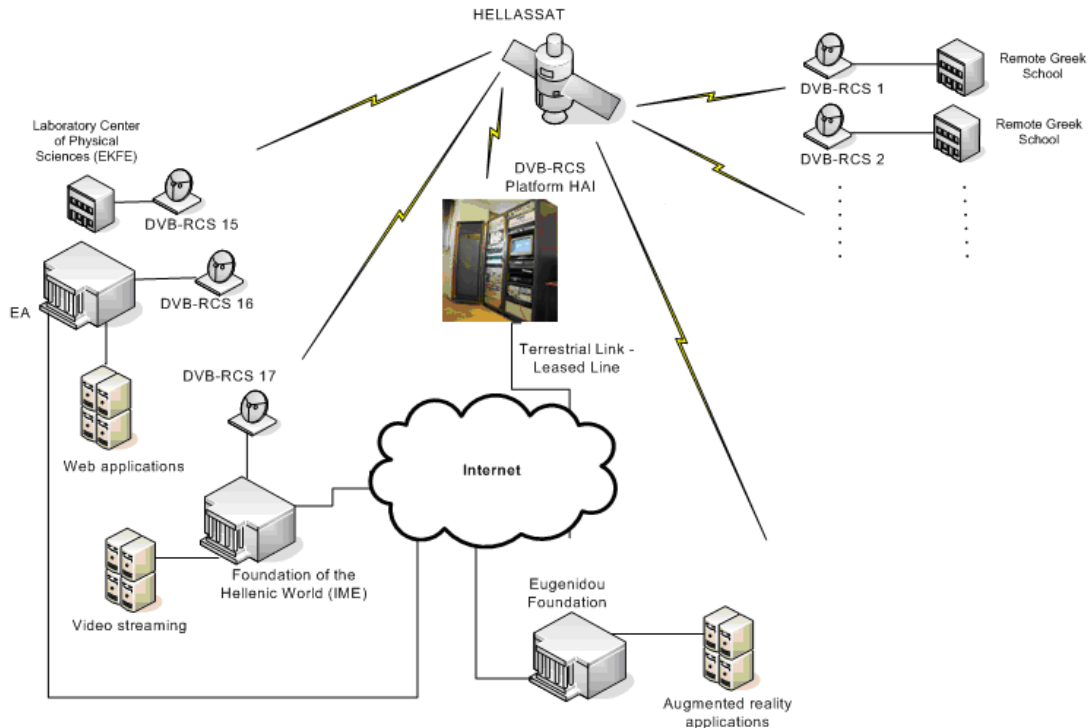
Όπως προαναφέρθηκε το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης της εικόνας (οπτικό πεδίο του χρήστη με την επιπρόσθετη πληροφορία) μέσω διαδικτύου σε απομακρυσμένα σχολεία και Κέντρα Επιμόρφωσης των Εκπαιδευτικών. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης επιλέγησαν ένα Λύκειο και δυο Κέντρα Επιμόρφωσης Εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών (ΕΚΦΕ), στα οποία εγκαταστάθηκε ο απαραίτητος εξοπλισμός (δορυφορικό τερματικό DVB-RCS, δορυφορική κεραία), ώστε να αποκτήσουν ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο, απαραίτητη για τη μετάδοση της εικόνας από το Ίδρυμα Ευγενίδου στους απομακρυσμένους χρήστες. Οι εγκαταστάσεις υλοποιήθηκαν στα πλαίσια των έργων ΕΡΜΗΣ (www.ea.gr/ep/hermes) και ΦΤΕΡΑ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ (www.ruralwings-project.org). Τα δίκτυα που έχουν αναπτυχθεί στα έργα αυτά περιλαμβάνουν συνολικά 40 σχολικές μονάδες (15 δημοτικά σχολεία, 15 Γυμνάσια, 10 Λύκεια), 2 ΕΚΦΕ (Κέντρα Κατάρτισης Εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών), το ΚΣΕ (Κέντρο Στήριξης Επιμόρφωσης) της Ελληνογερμανικής Αγωγής, το Ίδρυμα Ευγενίδου και το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού. Τα συγκεκριμένα έργα λειτουργούν ως πιλοτικές εφαρμογές ενόψει της ανάπτυξης του δικτύου «ΔΟΡΥ» από το Υπουργείο Παιδείας, Δια Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων. Στην Εικόνα 3.16 παρουσιάζεται η τοπολογία του δικτύου ΕΡΜΗΣ που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

3.3.1 Πιλοτική Εφαρμογή σε Απομακρυσμένα Σχολεία και ΕΚΦΕ

Τα ΕΚΦΕ που επιλέγησαν για την πιλοτική εφαρμογή ήταν το ΕΚΦΕ Χίου και το ΕΚΦΕ Ροδόπης. Το σχολείο που έλαβε μέρος στην εφαρμογή ήταν το Λυκείο Γλαύκης στον Νομό Ξάνθης. Στο σχολείο αυτό φοιτούν αποκλειστικά μαθητές από την Πομάκικη κοινότητα της περιοχής. Στόχος της εμπλοκής του σχολείου ήταν να μελετηθεί η εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης σε έναν πληθυσμό με σχετικά μειωμένο ενδιαφέρον στις Φυσικές Επιστήμες. Στα πλαίσια προετοιμασίας των εκπαιδευτικών, αναπτύχθηκε συνεχής επικοινωνία ώστε να ενημερωθούν πλήρως για την εφαρμογή και τα σενάρια χρήσης του περιβάλλοντος προετοιμασίας των σεναρίων αλλά και για την υλοποίηση της εικονικής επίσκεψης. Από τεχνικής απόψεως δύο είναι κύρια οι εφαρμογές που απαιτούνται για την υλοποίηση των εξ' αποστάσεως εφαρμογών. Η χρήση ζωντανής μετάδοσης βίντεο (Real-Time Video Streaming) και η τηλε-συνδιάσκεψη με

πολλούς συμμετέχοντες ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη επικοινωνία ενός κέντρου κατάρτισης με περισσότερα σχολεία. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έτσι ώστε να βρεθεί ο ιδανικός συνδυασμός εφαρμογών με τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Η μελέτη αυτή φιλοδοξεί να αποτελέσει αναφορά για την πολύ μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογή που θα πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο του έργου ΔΟΡΥ.

Network Topology



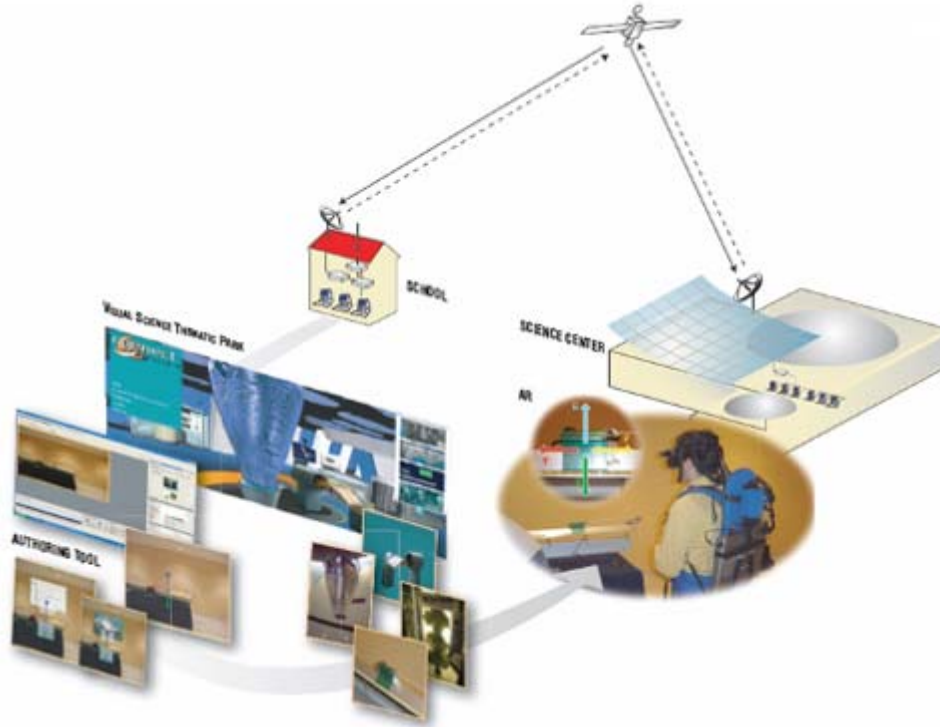
Εικόνα 3.16 Η τοπολογία του δορυφορικού δικτύου ΕΡΜΗΣ που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης για την επίδειξη των εικονικών επισκέψεων. Το συγκεκριμένο δίκτυο, πέραν των 10 απομακρυσμένων σχολείων περιλαμβάνει δορυφορικούς σταθμούς στο Ίδρυμα Ευγενίδου όπου βρίσκεται η διαδραστική έκθεση Φυσικών Επιστημών, στο Κέντρο Στήριξης της Επιμόρφωσης της Ελληνογερμανικής Αγωγής καθώς και σε δύο Κέντρα Κατάρτισης Εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών (ΕΚΦΕ) στη Ροδόπη και στη Χίο.

A) Ζωντανή αναμετάδοση της επίσκεψης στη Διαδραστική Έκθεση Επιστημών

Στην περίπτωση του Εικονικού Κέντρου Επιστημών η μετάδοση της επίσκεψης (η εικόνα που λαμβάνεται από το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας) πραγματοποιείται από τον τοπικό media server που βρίσκεται στο Ίδρυμα Ευγενίδου μέσω επίγειας ευρυζωνικής γραμμής 10Mbps. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι MPEG-4 και το σήμα μεταδίδεται ως μία ακολουθία από RTP-UDP πακέτων. Ταυτόχρονα υπάρχει και τηλεφωνικό κανάλι επικοινωνίας (μέσω διαδικτύου) ώστε να διατηρείται συνεχής επικοινωνία με τους εκπαιδευτικούς στα απομακρυσμένα σχολεία ή ΕΚΦΕ. Η συγκεκριμένη μετάδοση απαιτεί ταχύτητα σύνδεσης 1 Mbps (downlink) στο απομακρυσμένο τερματικό, καθώς πολλές φορές παρατηρείται σημαντική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης (spikes) που οφείλεται στο ότι το πακέτο μπορεί να αποσταλεί εκ νέου ολόκληρο σε περίπτωση κάποιου σφάλματος. Λαμβάνοντας υπόψη πως η διαθέσιμη χωρητικότητα είναι 1Mbps/512kbps για τα απομακρυσμένα τερματικά (δηλαδή το σύστημα καλείται να λειτουργεί στα όρια του) μία πολύ μεγάλη προσπάθεια έχει γίνει να βρεθεί ο ιδανικός τρόπος μετάδοσης ώστε να μειωθεί όσο είναι δυνατόν η απαιτούμενη χωρητικότητα με στόχο

πάντα την εξασφάλιση των καλύτερων συνθηκών για την υλοποίηση της εξ αποστάσεως επίσκεψης. Στο πλαίσιο αυτό οι προσπάθειες κινήθηκαν σε δύο κατευθύνσεις:

1. Να μειωθεί η απαιτούμενη ταχύτητα μετάδοσης.
2. Να βελτιωθεί η ποιότητα της μετάδοσης ώστε να μην απαιτείται συχνά η εκ νέου αποστολή των RTP-UDP πακέτων.

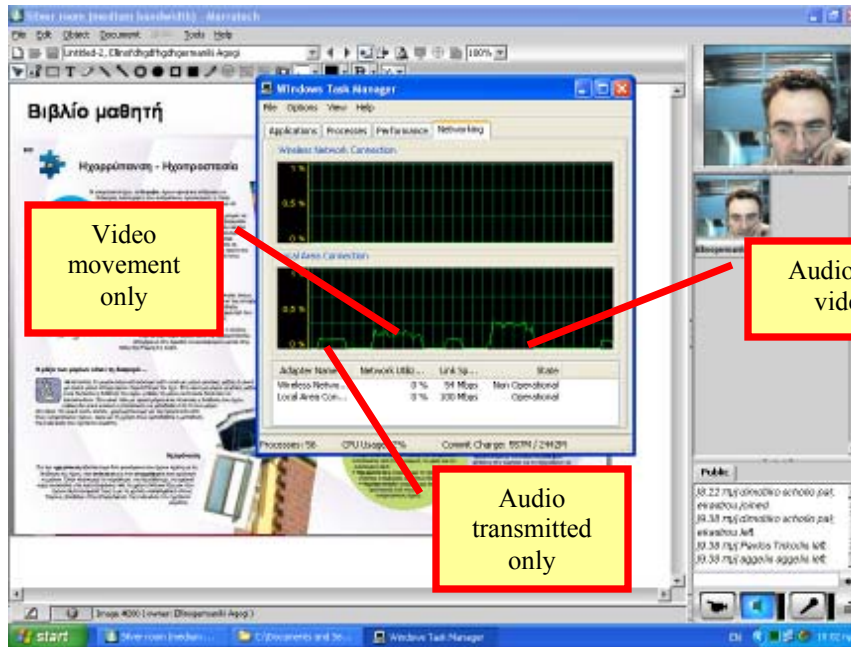


Εικόνα 3.17 Γραφική αναπαράσταση της προετοιμασίας και της υλοποίησης της εικονικής επίσκεψης στη διαδραστική έκθεση του Ιδρύματος Ευγενίδου. Οι εκπαιδευτικοί των απομακρυσμένων σχολείων μπορούν να προετοιμάσουν τα σενάρια τους στο περιβάλλον προετοιμασίας των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, να τα «φορτώσουν» στο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας και ο εκπαιδευτικός του Κέντρου Επιστημών, αποτελώντας τα μάτια των μαθητών και των εκπαιδευτικών να περιηγηθεί στην έκθεση παρουσιάζοντάς την, μαζί με το επιπρόσθετο υλικό στους μαθητές των απομακρυσμένων σχολείων μέσω της δορυφορικής ευρυζωνικής σύνδεσης.

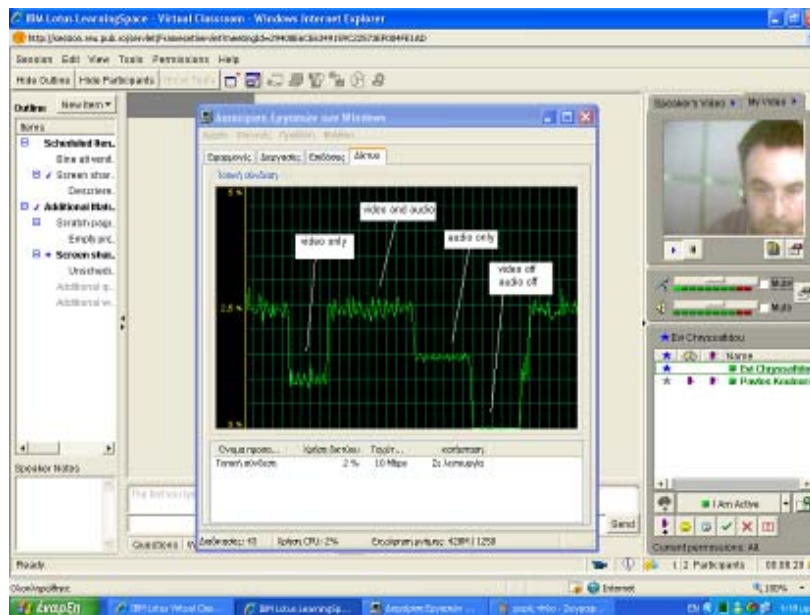
Οι προσπάθειες μας έως σήμερα οδήγησαν στην βελτιστοποίηση του συστήματος με απαιτούμενη χωρητικότητα κάτω των 800kbps, κάτι που πραγματικά δίνει τη δυνατότητα και για ταυτόχρονη μετάδοση σε περισσότερα απομακρυσμένα τερματικά.

B) Τηλε-συνδιάσκεψη με πολλούς συμμετέχοντες

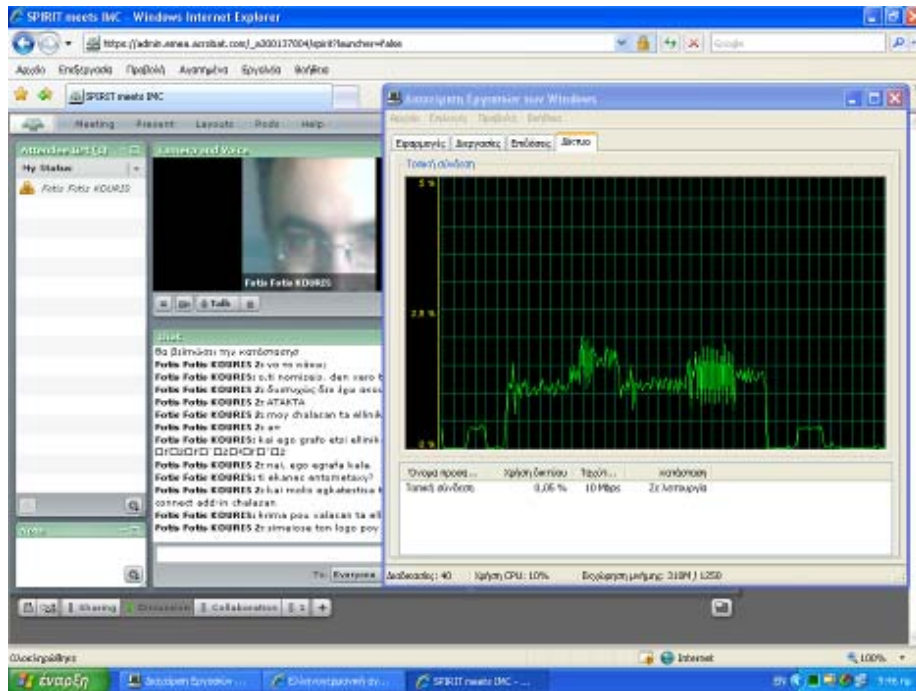
Στην περίπτωση της τηλε-συνδιάσκεψης με πολλούς χρήστες (περίπτωση κατάρτισης εκπαιδευτικών, μετάδοσης σεμιναρίων προς τα ΕΚΦΕ και τα σχολεία, εικονικές συναντήσεις μεταξύ των σχολείων που επισκέπτονται ταυτόχρονα δύο διαφορετικά Κέντρα Επιστημών) δοκιμάσαμε πολλές έτοιμες εμπορικές λύσεις (Marratech, Adobe Connect, IBM Lotus Learning Space, Satellite SpaceHellas Platform), τόσο από τις εγκαταστάσεις του HellasSat στο Μαρούσι, όσο και στις εγκαταστάσεις της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας (ΕΑΒ) στην Τανάγρα όπου βρίσκεται ο δεύτερος σταθμός επικοινωνίας με το δορυφόρο. Στις εικόνες 3.18, 3.19, 3.20 και 3.21 παρουσιάζονται δεδομένα από τις τεχνικές αυτές δοκιμές.



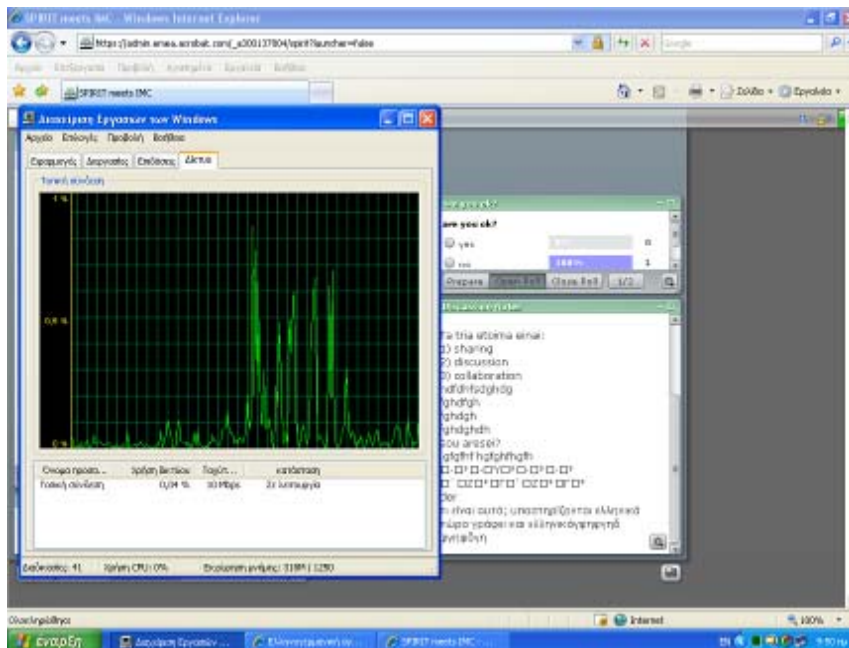
Εικόνα 3.18 Δοκιμάζοντας την πλατφόρμα τηλε-συνδιάσκεψης Marratech: Στην περίπτωση του unicast, κάθε συμμετέχοντας επιβαρύνει το σύστημα με 200-250 kbps.



Εικόνα 3.19 Δοκιμάζοντας την πλατφόρμα τηλε-συνδιάσκεψης IBM Lotus LearningSpace, Virtual Classroom: Στην περίπτωση του unicast, κάθε συμμετέχοντας επιβαρύνει το σύστημα με 250 kbps.



Εικόνα 3.20 Δοκιμάζοντας την πλατφόρμα τηλε-συνδιάσκεψης Adobe CONNECT: Στην περίπτωση του unicast, κάθε συμμετέχοντας επιβαρύνει το σύστημα με 180 kbps. Η Adobe CONNECT φαίνεται πως είναι η καλύτερη περίπτωση από αυτές που δοκιμάσαμε λαμβάνοντας υπόψη και τις συνολικές της δυνατότητες.



Εικόνα 3.21 Όταν δοκιμάζονται ταυτόχρονα και διάφορες άλλες εφαρμογές (χώροι συζήτησης, παρουσιάσεις, σημειώσεις) η απαιτούμενη χωρητικότητα μπορεί να φτάσει και 600-700 kbps.

Ενδεικτικά παρουσιάζουμε εδώ δεδομένα από δοκιμή (14/2/2008) ανάμεσα στο Ίδρυμα Ευγενίδου και τα δύο συνεργαζόμενα ΕΚΦΕ για την προετοιμασία της δραστηριότητας της

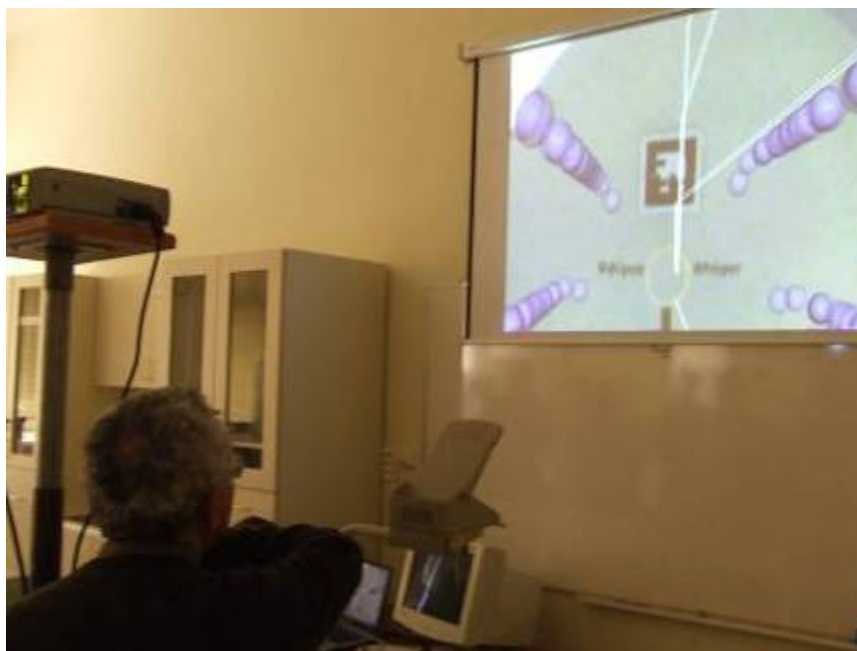
εικονικής επίσκεψης. Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιήθηκε μία σύνδεση 3 σημείων χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Marratech που ήταν εγκατεστημένη στο σταθμό ελέγχου της ΕΑΒ. Για μία τέτοια εφαρμογή είναι ξεκάθαρο πως απαιτείται ταχύτητα σύνδεσης περίπου 900kbps (downlink) ανά τερματικό σταθμό (Πίνακας 3.1).



Εικόνα 3.22 Ο εκπαιδευτικός του Ιδρύματος Ευγενίδου πραγματοποιεί μία διαδρομή μεταξύ των εκθεμάτων της διαδραστικής έκθεσης και οι μαθητές από το Λύκειο Γλαύκης παρακολουθούν τη διαδικασία. Το σύστημα, τους δίνει τη δυνατότητα να επικοινωνούν με τον εκπαιδευτικό και να τον κατευθύνουν στα εκθέματα που αυτοί επιθυμούν.

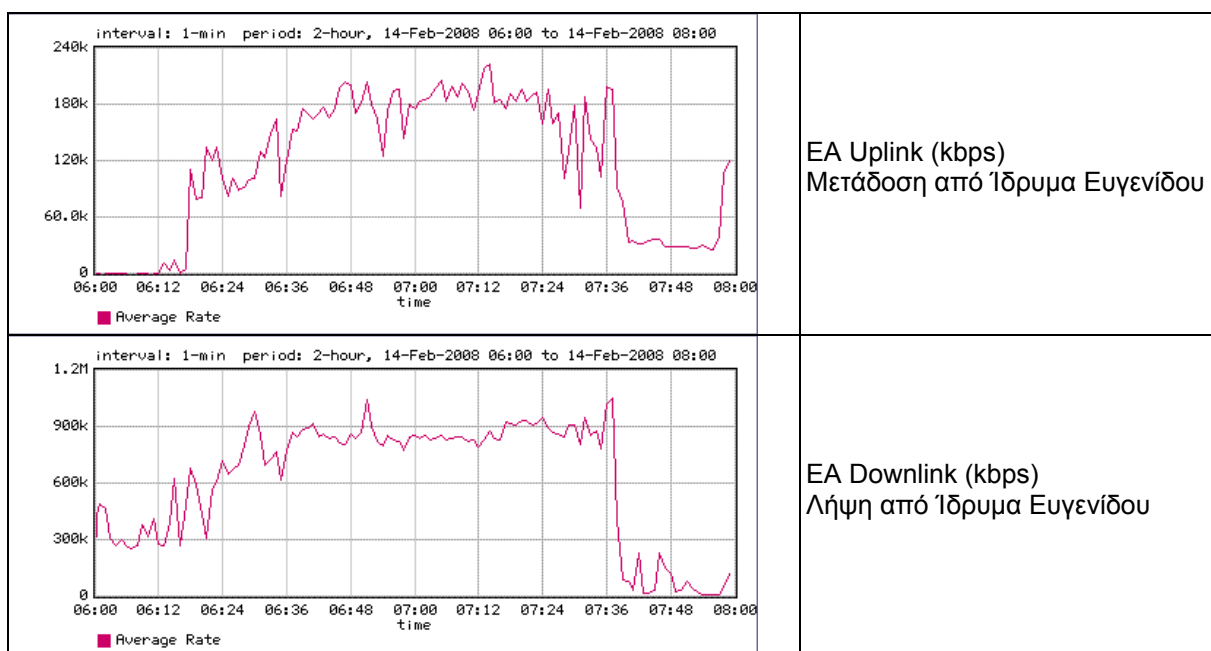


Εικόνα 3.23 Ο παιδαγωγός του Ιδρύματος Ευγενίδου πραγματοποιεί μία διαδρομή μεταξύ των εκθεμάτων της διαδραστικής έκθεσης και εκπαιδευτικό από το ΕΚΦΕ Χίου παρακολουθούν τη διαδικασία. Στα πλαίσια της δραστηριότητας του παρουσιάσαμε αναλυτικά για την υλοποίηση του σεναρίου για το Η/Μ φάσμα και τα ακουστικά κάτωπτρα.



Εικόνα 3.24 Οι εκπαιδευτικοί από το ΕΚΦΕ Χίου παρακολουθούν τη διαδρομή του συναδέλφου τους στη διαδραστική έκθεση ανάμεσα στα ακουστικά κάτοπτρα. Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας «οπτικοποιεί» τα πικνώματα και τα αραιώματα των μορίων του αέρα, προσομοιώνοντας τη διαδικασία μετάδοσης του ήχου.

Πίνακας 3.1 Λαμβανόμενος και εκπεμπόμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από τα 3 τερματικά που συμμετείχαν στη δοκιμή.



<p>interval: 1-min period: 2-hour, 14-Feb-2008 06:00 to 14-Feb-2008 08:00</p> <p>Average Rate</p>	<p>Ροδόπη Uplink (kbps) Μετάδοση από ΕΚΦΕ Ροδόπης</p>
<p>interval: 1-min period: 2-hour, 14-Feb-2008 06:00 to 14-Feb-2008 08:00</p> <p>Average Rate</p>	<p>Ροδόπη Downlink (kbps) Λήψη από ΕΚΦΕ Ροδόπης</p>
<p>interval: 1-min period: 2-hour, 14-Feb-2008 06:00 to 14-Feb-2008 08:00</p> <p>Average Rate</p>	<p>Χίος Uplink (kbps) Μετάδοση από ΕΚΦΕ Χίου</p>
<p>interval: 1-min period: 2-hour, 14-Feb-2008 06:00 to 14-Feb-2008 08:00</p> <p>Average Rate</p>	<p>Χίος Downlink (kbps) Λήψη από ΕΚΦΕ Χίου</p>

3.3.2 Συμπεράσματα για την τεχνική υλοποίηση των εικονικών επισκέψεων

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν σχετικά με την ανάπτυξη ενός δικτύου που μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές εξ αποστάσεως εκπαίδευσης και κατάρτισης, με βάση τις μετρήσεις που υλοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της εργασίας σε συνδυασμό με την εμπειρία που προκύπτει από τις διεθνείς σχετικές μελέτες συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Κάθε σχολείο του δορυφορικού δικτύου θα πρέπει να διαθέτει σύνδεση με ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 512kbps για να είναι εφικτή η υλοποίηση τέτοιων εφαρμογών.

- Τα μεγαλύτερα σχολεία (Γυμνάσια και Λύκεια) θα πρέπει να διαθέτουν σύνδεση με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες που θα προκύπτουν από ταυτόχρονη χρήση του διαδικτύου.
- Η χρήση του δικτύου θα πρέπει να παρακολουθείται για κάθε σχολική μονάδα διαρκώς.
- Η προσφερόμενη υπηρεσία θα πρέπει να πληρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές που θα εξασφαλίσουν την ποιότητά της (σταθερός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων).
- Η τηλεδιάσκεψη και άλλες συνεργατικές δραστηριότητες μπορούν μόνο να υποστηριχθούν από υπηρεσίες που προσφέρουν συμμετρικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

3.4 Εικονικά Πειράματα στο Σχολικό Εργαστήριο

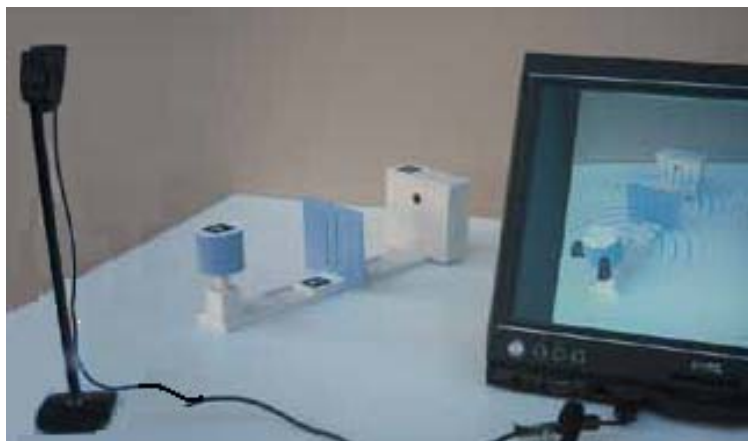
Στο πλαίσιο του τρίτου εκπαιδευτικού σεναρίου στρέφουμε πάλι το ενδιαφέρον μας στη σχολική τάξη και το σχολικό εργαστήριο. Κύριο μέλημα μας στη φάση αυτή είναι να αναδείξουμε τις δυνατότητες των προηγμένων τεχνολογιών για την αναπαράσταση και οπτικοποίηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων και πειραμάτων μέσα στην ίδια τη σχολική τάξη. Η προσέγγιση μας βασίζεται στην ανάπτυξη μίας μικρής πειραματικής διάταξης που σε συνδυασμό με την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να αποδώσει με απλό και κατανοητό τρόπο το περίφημο πείραμα της διπλής σχισμής για τα ηλεκτρόνια. Στην εικόνα 3.25 παρουσιάζεται η αρχική πειραματική διάταξη για την αναπαράσταση του πειράματος της διπλής σχισμής που περιλαμβάνει α) μια απλή μεταλλική κατασκευή που αποτελείται από δύο πετάσματα (ένα σταθερό όπου διακρίνονται οι κροσσοί συμβολής ανάλογα με τη γεωμετρία, ενός δεύτερου πετάσματος (τοιχώματος) που τοποθετείται από τους μαθητές ανάμεσα στο σταθερό πέτασμα και στην πηγή και β) σειρά σεναρίων επαυξημένης πραγματικότητας (στην εικόνα διακρίνονται σφαιρίδια μεγάλων διαστάσεων που προσπίπτουν στο ενδιάμεσο τοίχωμα με τις σχισμές) ανάλογα με τη γεωμετρία του ενδιάμεσου πετάσματος. Το σύστημα «αναγνωρίζει» τη γεωμετρία του τοιχώματος χάρη στον ασπρόμαυρο «κωδικό» που είναι τοποθετημένος στην επάνω αριστερή γωνία του τοιχώματος.



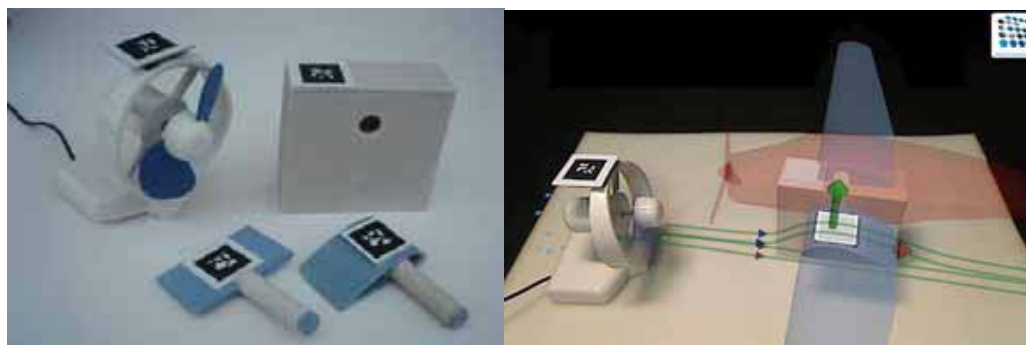
Εικόνα 3.25. Η αρχική πειραματική διάταξη για την αναπαράσταση του πειράματος των δύο σχισμών περιελάμβανε μια απλή μεταλλική κατασκευή και σειρά σεναρίων επαυξημένης πραγματικότητας (εδώ διακρίνονται τα «σωματίδια» που προσπίπτουν στο ενδιάμεσο πέτασμα με τις σχισμές) ανάλογα με την γεωμετρία του ενδιάμεσου τοιχώματος.

3.4.1 Ένα Μουσείο Επιστημών στη σχολική τάξη

Στο προηγούμενο σενάριο είδαμε πως η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να υποστηρίξει τη μαθησιακή εμπειρία στο πλαίσιο μίας επίσκεψης σε ένα μουσείο ή κέντρο επιστημών. Θα παρουσιάσουμε τώρα έναν πρωτοποριακό τρόπο για τη «μεταφορά» αυτής της εμπειρίας στη σχολική τάξη. Στο πλαίσιο του έργου Science Center To Go (www.sctg.eu) (Buchholz and Wetzel, 2009)⁷⁴ μία σειρά από μικρής κλίμακας πειραματικές διατάξεις αναπτύχθηκαν για να προσομοιώσουν με εύκολο και κατανοητό τρόπο διάφορα φυσικά φαινόμενα. Οι διατάξεις επιτρέπουν στους μαθητές να πειραματιστούν οι ίδιοι και να αλλάξουν τις αρχικές παραμέτρους του κάθε πειράματος ώστε να μελετήσουν το κάθε φαινόμενο αναλυτικά. Η συναρμολόγηση των πειραματικών διατάξεων είναι πολύ απλή επιτρέποντας σε όλους τους εκπαιδευτικούς να εφαρμόσουν αυτά τα πειράματα στην τάξη τους.



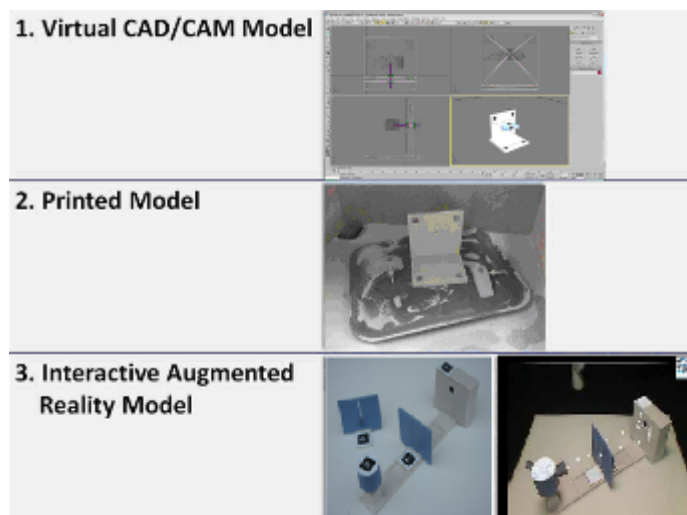
Εικόνα 3.26. Η πειραματική διάταξη και ο απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση του πειράματος της διπλής σχισμής. Η κάμερα «διαβάζει» τους ασπρόμαυρους «κωδικούς» που υπάρχουν προσαρτημένοι στα διάφορα σημεία της πειραματικής διάταξης, ενώ ο υπολογιστής «προσαυξάνει» την εικόνα της κάμερας (πραγματικό) με τις προσομοιώσεις και τις οπτικοποιήσεις (εικονικό) που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο συνδυασμό «κωδικών» ώστε να αναπαραστήσει το φυσικό φαινόμενο (σύνθεση πραγματικού και εικονικού).



Εικόνα 3.27. Ένα έκθεμα που περιλαμβάνεται στη συλλογή του Science Center To Go είναι το εικονικό αεροπλάνο που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν γιατί πετάνε τα αεροπλάνα. Αριστερά φαίνονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται η πειραματική διάταξη (πραγματικό μέρος) και δεξιά αυτό το οποίο βλέπουν οι μαθητές στην οθόνη του υπολογιστή. Οι μαθητές μπορούν να αλλάξουν την κλίση του φτερού, να επιλέξουν διαφορετικά είδη φτερών και να διαπιστώσουν πότε η άνωση του αέρα καθίσταται μεγαλύτερη του βάρους του αεροπλάνου.

Τα διαφορετικά μέρη της κάθε πειραματικής διάταξης φέρουν ειδικούς «κωδικούς» (μαυρόασπρους σχηματισμούς) που βοηθούν το σύστημα να παρακολουθήσει τις αλλαγές που πραγματοποιούνται από τον κάθε χρήστη. Το λογισμικό που υποστηρίζει την εφαρμογή βασίζεται στο MORGAN AR/VR Framework και μπορεί να «τρέξει» σε οποιοδήποτε υπολογιστή αλλά και σε ορισμένα κινητά τηλέφωνα που διαθέτουν κάμερα (Broll et al. 2005)⁷⁵. Οι «κωδικοί» έχουν δημιουργηθεί από τη βιβλιοθήκη ARToolkitPlus (Wagner, Schmalstieg, 2005)⁷⁶ computer vision που αποτελεί επέκταση της αρχικής βιβλιοθήκης ARToolkit (Kato and Billinghurst, 1999)⁷⁷.

Στην εικόνα 3.28 παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας των διαφορετικών τμημάτων της κάθε πειραματικής διάταξης. Αρχικά σχεδιάζουμε το μοντέλο της κάθε πειραματικής διάταξης και των κομματιών από τα οποία αποτελείται. Αφού σχεδιαστεί το μοντέλο η πραγματική διάταξη δημιουργείται χρησιμοποιώντας έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή, στην περίπτωση μας τον Spectrum Z™510 3D ο οποίος μπορεί να αποδώσει το μοντέλο σε ακρίβεια ενός δεκάτου του χιλιοστού. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του περιβάλλοντος δημιουργίας μοντέλων όλα τα εικονικά αντικείμενα προστίθενται με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο. Οι «κωδικοί» συνδέονται με τα εικονικά αντικείμενα και οι αντίστοιχες οπτικοποιήσεις προστίθενται ώστε να δημιουργηθεί το πλήρες σενάριο.



Εικόνα 3.28. Παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας των διαφορετικών τμημάτων της κάθε πειραματικής διάταξης. Με τη βοήθεια του περιβάλλοντος δημιουργίας μοντέλων όλα τα εικονικά αντικείμενα προστίθενται με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο. Οι «κωδικοί» συνδέονται με τα εικονικά αντικείμενα και οι αντίστοιχες οπτικοποιήσεις προστίθενται ώστε να δημιουργηθεί το πλήρες σενάριο.

3.4.2 Προσομοιώνοντας το πείραμα της Διπλής Σχισμής

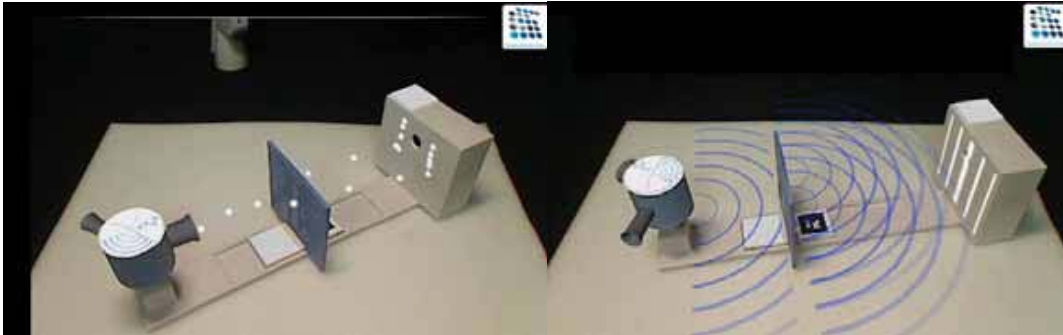
Με στόχο την ανάδειξη των δυνατοτήτων του συστήματος, επιλέξαμε μία σειρά από πειράματα που είναι εξαιρετικά δύσκολο να αποδοθούν με κάποια πειραματική διάταξη και αναφέρονται σε φαινόμενα που είναι πολύ δύσκολο να γίνουν κατανοητά από τους μαθητές. Η πρώτη πειραματική διάταξη που δημιουργήθηκε είναι αυτή που αναπαριστά το πείραμα της διπλής σχισμής. Ακολουθώντας την αριστουργηματική ανάλυση του Feynman για το πείραμα της διπλής σχισμής (Feynman, 1977)⁷⁸ θα προσπαθήσουμε να εισάγουμε τους μαθητές στην καρδιά του κβαντικού μυστηρίου, παρουσιάζοντας την παράδοξη φύση της πραγματικότητας που αναδεικνύει. Η πειραματική διάταξη, συνθέτοντας διαφορετικούς συνδυασμούς «κωδικών» μπορεί να αναπαραστήσει τρία πειράματα (εικόνα 3.30):

α) Στο πρώτο πείραμα μικρές σφαίρες ταξιδεύουν από την πηγή μέχρι ένα πέτασμα διαμέσου ενός τοιχώματος με δυο σχισμές η μία δίπλα στην άλλη.

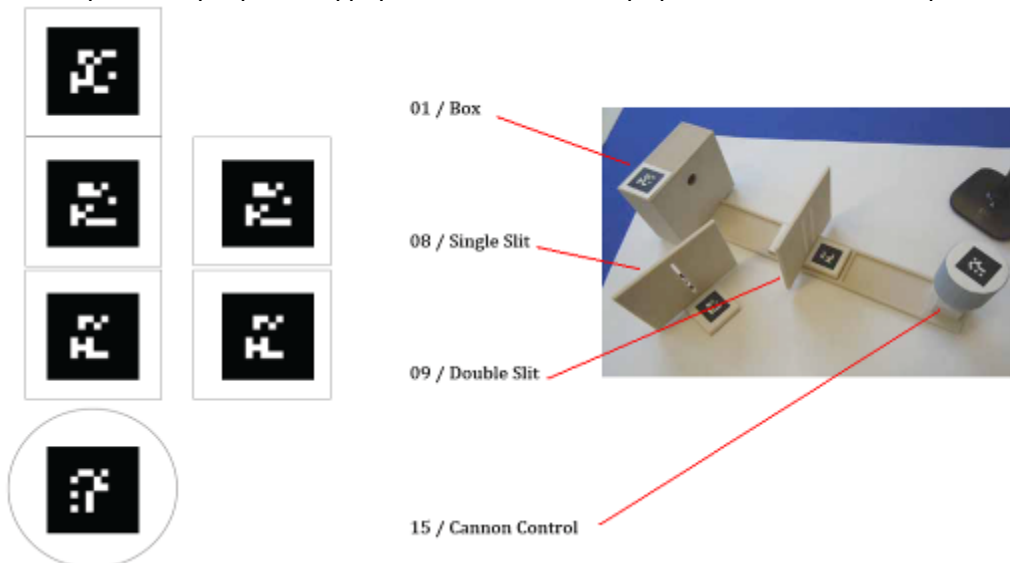
β) Στο δεύτερο πείραμα η πειραματική διάταξη βυθίζεται στο νερό μέχρι τη μέση, μια ακίδα

δημιουργεί υδάτινα κύματα που ταξιδεύουν μέχρι το πέτασμα διαμέσου ενός φράγματος με διπλή σχισμή.

γ) Στο τρίτο πείραμα, ηλεκτρόνια ταξιδεύουν από την πηγή μέχρι μια οθόνη ανίχνευσης διαμέσου ενός φράγματος με διπλή σχισμή.



Εικόνα 3.29. Η πειραματική διάταξη μπορεί να αναπαραστήσει διαφορετικά σενάρια με βάση τον συνδυασμό των «κωδικών» που «βλέπει» η κάμερα που είναι συνδεδεμένη με τον υπολογιστή. Εδώ αναπαρίσταται η περίπτωση μεγάλων διαστάσεων σφαιριδίων και υδάτινων κυμάτων.



Εικόνα 3.30. Η πειραματική διάταξη μπορεί να αναπαραστήσει διαφορετικά σενάρια με βάση τον συνδυασμό των «κωδικών» που «βλέπει» η κάμερα που είναι συνδεδεμένη με τον υπολογιστή. Εδώ παρουσιάζονται οι δυνατοί συνδυασμοί. Η περιστροφή της «πηγής» δημιουργεί τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς για την περίπτωση της μονής και της διπλής σχισμής αντίστοιχα.

Οι μαθητές μπορούν ακόμα να τροποποιήσουν την απόσταση του τοιχώματος από το πέτασμα και την πηγή και να παρατηρήσουν τις αποστάσεις ανάμεσα στους κροσσούς συμβολής να μεγαλώνει και να μικραίνει. Μπορούν επίσης να αλλάζουν τα τοιχώματα και να παρατηρούν τη συμπεριφορά των κυμάτων και των σωματιδίων για την περίπτωση της μονής και της διπλής σχισμής αντίστοιχα.

4 Συνδέοντας τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών με την καθημερινή ζωή – Νευτώνεια Μηχανική

4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τρόπους με τους οποίους οι προηγμένες τεχνολογίες μπορούν να υποστηρίξουν τη σύνδεση της εκπαιδευτικής διαδικασίας και της καθημερινής ζωής. Βασίζεται στη χρήση ενός συστήματος που επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων (π.χ. ταχύτητα, επιτάχυνση, θερμοκρασία) κατά τη διάρκεια των καθημερινών δραστηριοτήτων των μαθητών και τη χρήση τους ως πειραματικών στοιχείων για τη μελέτη φυσικών φαινομένων. Ενσωματώνοντας μία σειρά αισθητήρων στα ρούχα και στα παιχνίδια (π.χ. σε μία μπάλα ποδοσφαίρου), που μπορούν να συλλέγουν και να αποστέλλουν ασύρματα δεδομένα σε έναν σταθμό βάσης σε πραγματικό χρόνο, μπορεί κανείς να μετατρέψει το παιχνίδι σε αντικείμενο πειραματισμού και μελέτης, παρουσιάζοντας μία σειρά φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα (π.χ. επιτάχυνση – επιβράδυνση, δράση-αντίδραση) δίνοντας την ευκαιρία στους μαθητές να καταλαβαίνουν τη σύνδεση τους με αυτά που διδάσκονται στο μάθημα των φυσικών επιστημών. Με τον τρόπο αυτό, η προτεινόμενη προσέγγιση φέρνει τις καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών στο επίκεντρο του μαθήματος και τις καθιστά αντικείμενο πειραματισμού και μελέτης. Η προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται στη χρήση του συστήματος Lab of Tomorrow (LOT) «Εργαστήριο του Αύριο» το οποίο σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και βελτιώθηκε στο πλαίσιο των έργων Lab of Tomorrow (www.ea.gr/ep/laboftomorrow) και inLOT (www.inlot.eu) που χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τα συντόνιζαν το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνίας και Υπολογιστών και η εταιρεία ANKO αντίστοιχα.

4.2 Παιδαγωγική Προσέγγιση

Η υπόθεση που αποτελεί τη βάση της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας είναι ότι η συμπλήρωση της παραδοσιακής επιστημονικής μεθοδολογίας πειραματισμού με οπτικοποιήσεις, αναπαραστάσεις και εφαρμογές και εργαλεία κατασκευής μοντέλων θα βοηθήσει τους μαθητές, να εκφράσουν τα νοητικά μοντέλα τους, να κάνουν καλύτερες προβλέψεις και να πραγματοποιούν αποτελεσματικότερους συλλογισμούς. Κύριος στόχος της προτεινόμενης προσέγγισης είναι η καταπολέμηση των λανθασμένων αντιλήψεων των μαθητών. Είναι δεδομένο πως μαθητές μαθαίνουν και κατανοούν ευκολότερα συγκεκριμένες έννοιες σε δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εκτός των ορίων της σχολικής τάξης, όπως οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες στα μουσεία φυσικών επιστημών αλλά και επισκέψεις σε επιστημονικά και ερευνητικά κέντρα.

Είναι ευρύτερα αποδεκτό πως η θετική αυτή αντιμετώπιση έχει δυο κύριες ρίζες: την ελευθερία της εξόδου από το επίσημο σκηνικό της σχολικής αίθουσας και τη θετική παρακίνηση των μαθητών προς την άτυπη μάθηση, πέρα από το σχολείο σε πραγματικές συνθήκες. Για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων της άτυπης μάθησης, πρέπει να εκμεταλλευθεί κανείς την παρακινητική επίδραση της ελευθερίας και του φυσικού περιβάλλοντος. Στόχος της προσέγγισης μας, είναι η γεφύρωση των ξεχωριστών χώρων όπου η μάθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί, με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και δραστηριοτήτων που συνθέτουν τις φυσικές έννοιες με τη βοήθεια της ψηφιακής τεχνολογίας σε δημιουργικές διερευνήσεις και εφευρετικές εξερευνήσεις. Στοχεύουμε στην παρουσίαση μιας καινοτόμου προσέγγισης που καταργεί τα όρια μεταξύ σχολικής τάξης και της καθημερινής δραστηριότητας και εμπλέκει τους μαθητές σε εκτεταμένες δραστηριότητες μάθησης μέσω παιχνιδιού.



Εικόνα 4.1 Το «Εργαστήριο του Αύριο» παρουσιάζει νέες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών μετατρέποντας τις καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών σε μέσο πειραματισμού.

Πιο συγκεκριμένα, οι ειδικότεροι στόχοι της προτεινόμενης παιδαγωγικής προσέγγισης είναι οι ακόλουθοι:

- Η ανάπτυξη του παιδαγωγικού πλαισίου που θα επιτρέψει την επιτυχή εισαγωγή τεχνολογιών αιχμής στην καθημερινή μάθηση. Ο στόχος είναι, η επέκταση της μαθησιακής διαδικασίας και έξω από τα χρονικά και τα χωρικά όρια της τάξης στο εξωτερικό περιβάλλον και με επιθυμητή διάρκεια στις καθημερινές δραστηριότητες.
- Η ενίσχυση της ανακαλυπτικής μάθησης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Rocard, 2007, Osborne and Dillon 2008). Συνήθως προσχεδιασμένα πειράματα χρησιμοποιούνται για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Στο πλαίσιο της προτεινόμενης μεθόδου, οι μαθητές θα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν «έξυπνα» αντικείμενα και παιχνίδια για να οργανώσουν τα δικά τους πειράματα. Με αυτόν το τρόπο δίνονται κίνητρα στους μαθητές, προσομοιώνεται πλήρως η έννοια της επιστημονικής αναζήτησης, προεκτείνονται οι πειραματικές δυνατότητες, αναπτύσσεται η κριτική σκέψη, διαπιστώνεται η βαθύτερη σύνδεση των επιστημονικών εννοιών από φαινομενικώς διαφορετικά επιστημονικά πεδία και είναι δυνατή η καλύτερη κατανόηση της σχέσης της επιστήμης με την τεχνολογία.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται εν συντομία, οι βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται η προτεινόμενη παιδαγωγική προσέγγιση για τη διδασκαλία των Φυσικών επιστημών σε σύγκριση με αυτές που εφαρμόζονται σήμερα στο σύνολο των σχολείων της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Πίνακας 4.1 Σύγκριση Παραδοσιακών και Ανακαλυπτικών Αρχών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

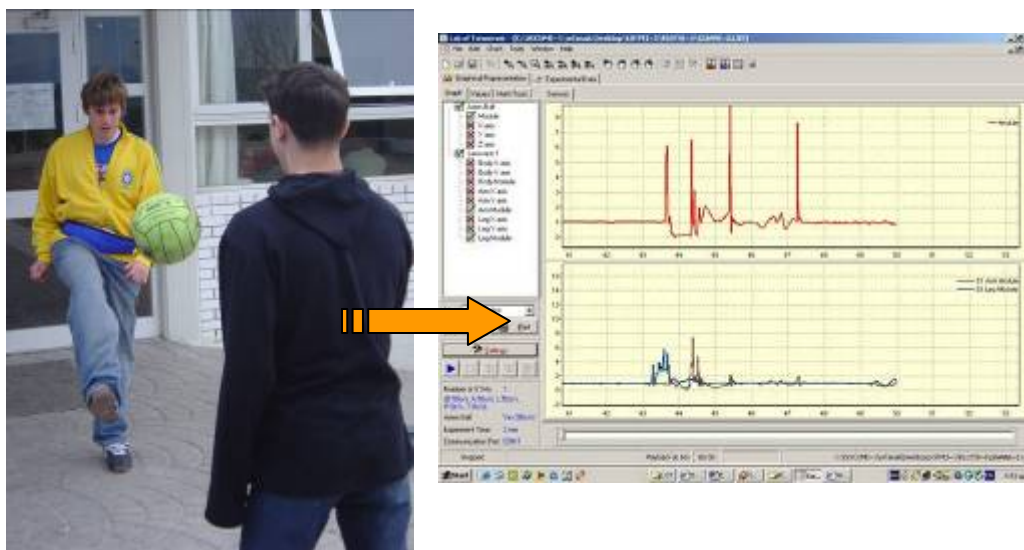
Παραδοσιακή διδασκαλία	Προτεινόμενο πρόγραμμα
Φυσική για λίγους	Φυσική για όλους
Η μάθηση βασίζεται σε μετρήσιμες συμπεριφορές	Η μάθηση βασίζεται στην ανάπτυξη ουσιαστικών εννοιών
Βάσει κειμένων	Πρακτική και πνευματική εξάσκηση

Παθητική μάθηση	Ενεργητική μάθηση
Έρευνα επιβεβαίωσης	Έρευνα επίλυσης προβλημάτων
Βάσει γεγονότων	Βάσει εννοιών
Επιδείξεις του καθηγητή	Εμπειρίες επί τόπου και στα εργαστήρια
Αντίληψη της φυσικής ως ανεξάρτητο θέμα με μικρή σχέση με τα μαθηματικά, τις κοινωνικές σπουδές, τη γλωσσολογία, την τέχνη ή τη μουσική	Αντίληψη της φυσικής ως μέρος ενός διεπιστημονικού κόσμου. Δίνεται έμφαση στο συσχετισμό της με τον κόσμο των μαθητών, ο οποίος δεν διαχωρίζεται.
Ο καθηγητής μεταβιβάζει τη γνώση και οι μαθητές την μαθαίνουν. Η επικοινωνία είναι γενικώς μονόπλευρη.	Ο καθηγητής διευκολύνει την μάθηση αλλά λαμβάνει γνώσεις και ο ίδιος. Οι μαθητές είναι και καθηγητές σε κάποιες περιπτώσεις.
Περιορισμένη χρήση τεχνολογίας	Πλήρης εισαγωγή της κατάλληλης τεχνολογίας στη διδασκαλία.
Αποκλειστική χρήση αξιολόγησης με μολύβι και χαρτί αποκομμένη από τη διδασκαλία.	Πολυδιάστατη αξιολόγηση. Αξιολόγηση συγχωνευμένη με τη διδασκαλία.
Ανταγωνιστική μάθηση	Μάθηση με συνεργασία
Ανεξάρτητα μαθήματα	Σπειροειδές πρόγραμμα μαθημάτων
Πολλά επιστημονικά θέματα καλύπτονται επιφανειακά	Λίγα επιστημονικά ζητήματα καλύπτονται σε μεγαλύτερο βάθος

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα σενάριο χρήσης του «Εργαστηρίου του Αύριο», βασιζόμενο στις παραπάνω προτεινόμενες παιδαγωγικές αρχές.

4.2.1 Σενάριο χρήσης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε ένα σενάριο χρήσης του συστήματος που έχει εφαρμοσθεί σε αρκετές περιπτώσεις. Το μάθημα της Φυσικής λαμβάνει χώρα σε συνδυασμό με το μάθημα της Φυσικής Αγωγής.



Εικόνα 4.2 Ο συγχρονισμός του βίντεο του πειράματος με τη γραφική απεικόνιση των μετρούμενων παραμέτρων έχει κυρίαρχο ρόλο στον σχεδιασμό του λογισμικού καθώς αποτελεί τη «γέφυρα» ανάμεσα στην καθημερινή δραστηριότητα και την εκπαιδευτική διαδικασία. Εκπαιδευτικοί και μαθητές μπορούν να «βιώσουν» τους νόμους της κίνησης του Νεύτωνα, μπορούν να υπολογίσουν τον χρόνο πτήσης και την ταχύτητα της μπάλας, μελετώντας τις δικές τους δραστηριότητες την ώρα του μαθήματος της Φυσικής Αγωγής ή ακόμα και την ώρα του διαλείμματος.

Οι εκπαιδευτικοί (καθηγητής Φυσικής και καθηγητής Φυσικής Αγωγής) και οι μαθητές τοποθετούν την κάμερα στο κατάλληλο σημείο για να βιντεοσκοπήσει την εκτέλεση του πειράματος. Οι μαθητές φορούν τα Σετ Μαθητή με τους αισθητήρες. Ο χρήστης εκκινεί στον Φορητό Υπολογιστή την εφαρμογή του συστήματος και μέσω της οθόνης των απαραίτητων ρυθμίσεων καθορίζει τις παραμέτρους του πειράματος.

Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν :

- το αριθμό των μαθητών που συμμετέχουν στο πείραμα.
- τη συχνότητα δειγματοληψίας του αισθητήρα επιτάχυνσης ποδιού.
- τη συχνότητα δειγματοληψίας του αισθητήρα επιτάχυνσης χεριού.
- τη συχνότητα δειγματοληψίας του αισθητήρα επιτάχυνσης σώματος.
- τη συχνότητα δειγματοληψίας άλλων αισθητήρων (π.χ. εφίδρωσης).
- τη διάρκεια του πειράματος, κ.α.

Στην συνέχεια μέσω του ειδικού λογισμικού της IP κάμερας ρυθμίζονται παράμετροι λειτουργίας όπως η IP διεύθυνση στην οποία αποστέλλονται τα δεδομένα, η ευαισθησία (αριθμός pixels), ο ρυθμός των στατικών εικόνων (frame rate), ο τύπος συμπίεσης του αρχείου (π.χ. MPEG-4, MJPEG).

Κατόπιν δίνεται η εντολή για έναρξη του πειράματος. Κατά την διάρκεια της εκτέλεσής του στην οθόνη του ΦΗΥ, εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες σύμφωνα με την επιθυμία του χρήστη του λογισμικού. Ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ποιες εκ των γραφικών απεικονίσεων επιθυμεί να χρησιμοποιήσει για περαιτέρω ανάλυση. Μετά το πέρας του πειράματος, εκπαιδευτικοί και οι μαθητές μπορούν να δουν σε playback την εκτέλεση του πειράματος και να μελετήσουν τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις των μετρούμενων παραμέτρων μέσω της εφαρμογής στον υπολογιστή, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.2.

Ο συγχρονισμός του βίντεο του πειράματος με τη γραφική απεικόνιση των μετρούμενων παραμέτρων έχει κυρίαρχο ρόλο στον σχεδιασμό του λογισμικού καθώς αποτελεί τη «γέφυρα» ανάμεσα στην καθημερινή δραστηριότητα και την εκπαιδευτική διαδικασία. Κατ' αρχάς, επιλέγεται το πείραμα που θα μελετηθεί καθώς και ποιες γραφικές παραστάσεις θα εμφανίζονται στην οθόνη. Η διεπιφάνεια του χρήστη παρουσιάζει δύο παράθυρα, στο ένα εκ των οποίων εμφανίζεται το βίντεο του πειράματος και στο άλλο οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις. Κατά τη διάρκεια του playback ενός πειράματος, δίνεται η δυνατότητα από το λογισμικό ακριβούς εντοπισμού του συγκεκριμένου σημείου στην απεικόνιση της γραφικής παράστασης, που αντιστοιχεί σε ένα επιλεγμένο στιγμιότυπο στο βίντεο. Εξαιρετικά μεγάλος αριθμός εφαρμογών μπορούν να αναπτυχθούν με βάση τα διαγράμματα αυτά αφού κάθε στιγμή του παιχνιδιού μπορεί να μετατραπεί σε αντικείμενο μελέτης και ανάλυσης, να εξηγηθούν τα φυσικά φαινόμενα και οι νόμοι που τα διέπουν και τελικά οι μαθητές να κατανοήσουν τις φυσικές έννοιες (δύναμη, ταχύτητα, επιτάχυνση κλπ) αλλά και τις συνέπειες των φυσικών νόμων στην καθημερινή μας ζωή.

4.3 Αξιολόγηση της εκπαιδευτικής προσέγγισης

Η διαδικασία αυτή αποτελεί τον κυρίαρχο μηχανισμό εξασφάλισης της αποδοχής του τελικού συστήματος από τους χρήστες και μοιραία είναι το σημείο όπου ο τεχνολογικός άξονας της εργασίας συναντά την καινοτόμο παιδαγωγική του προσέγγιση. Η αξιολόγηση θα έχει σαν τελικό στόχο να δημιουργηθεί από τη μία το παιδαγωγικό πλαίσιο και από την άλλη το εργαλείο αξιολόγησης της χρηστικότητας του συστήματος.

4.3.1 Μεθοδολογία Αξιολόγησης

Το βασικό θεωρητικό ζήτημα που προκύπτει από την προτεινόμενη προσέγγιση και χρήζει επισταμένης έρευνας, είναι το κατά πόσο η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση

και ειδικότερα η τεχνολογία των φορητών συστημάτων, μπορεί να προσφέρει μια ποιοτική αναβάθμιση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Σε μια τέτοια περίπτωση η εισαγωγή της τεχνολογίας δεν θα είναι αντικαταστάτης της συμβατικής διδασκαλίας αλλά επιπρόσθετο εργαλείο το οποίο πρέπει να δικαιολογήσει την εισαγωγή του μέσα από την ποιοτική αναβάθμιση που προσφέρει στην καθημερινή σχολική πρακτική. Η εκτίμηση της επίτευξης των γνωστικών στόχων απαιτεί τη χρήση ενός έγκυρου και πιστοποιημένου εργαλείου, ικανού μάλιστα να ανταποκριθεί στις διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις στις διαφορετικές χώρες εφαρμογής, στη διαφορετική γλώσσα αλλά και στις διαφοροποιήσεις που παρουσιάζουν τα αναλυτικά προγράμματα. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο η αξιολόγηση της εφαρμογής να γίνει με τη μέθοδο TIMSS (Baumert, J., et al., 1997⁷⁹, Martin et al., 2004, Martin et al., 2008⁸⁰) που βασίζεται σε ειδικά σχεδιασμένα ερωτηματολόγια και στην ανάλυση βιντεοσκοπημένων δραστηριοτήτων στη τάξη.

Οι ερωτήσεις που περιλαμβάνονται στα ερωτηματολόγια TIMSS είναι βαθμονομημένες γεγονός που επιτρέπει την χρήση τους ως αναφορά για συγκρίσεις μεταξύ αποτελεσμάτων από διαφορετικές χώρες. Επιπρόσθετα το γεγονός ότι τα ερωτηματολόγια TIMSS έχουν δοκιμασθεί επανειλημμένα και έχουν βελτιωθεί συστηματικά σε επαναλαμβανόμενους κύκλους εφαρμογής εξασφαλίζει σε σημαντικό βαθμό την αποτελεσματικότητα των μετρήσεων με βάση τη συγκεκριμένη μέθοδο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παράλληλα με την εφαρμογή των ερωτηματολογίων η μέθοδος TIMSS προβλέπει και τη συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με α) το αναλυτικό πρόγραμμα των μαθηματικών και των φυσικών επιστημών (κατά πόσον τα θέματα που περιλαμβάνονται στο ερωτηματολόγιο καλύπτουν διδακτέα ύλη και πόσος χρόνος αφιερώνεται στην παρουσίαση και στην εμπέδωση τους), β) με το πρόγραμμα επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών και με τις δεξιότητες τους στην χρήση νέων τεχνολογικών εργαλείων και συγκεκριμένων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων και γ) τη διαθεσιμότητα εκπαιδευτικού υλικού και εφαρμογών.

Το μοντέλο αξιολόγησης που υιοθετήθηκε προβλέπει αξιολόγηση πριν και μετά την εφαρμογή μόνο με ομάδα πειραματισμού. Θεωρούμε πως τα δεδομένα TIMSS για την κάθε χώρα αποτελούν έγκυρη αναφορά τόσο για την εξακρίβωση ότι οι τάξεις πειραματισμού μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές σε επίπεδο χώρας αλλά και το σημαντικότερο πως η (σημαντική) διαφοροποίηση των ομάδων πειραματισμού από τους εθνικούς μέσους όρους αποτελεί βάσιμη απόδειξη της επίδρασης της αποτελεσματικής χρήσης του συστήματος “Εργαστήριο του Αύριο” στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τους ερευνητικούς στόχους της διαδικασίας αξιολόγησης και τα αντίστοιχα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 4.2: Ερευνητικοί στόχοι και Εργαλεία Αξιολόγησης

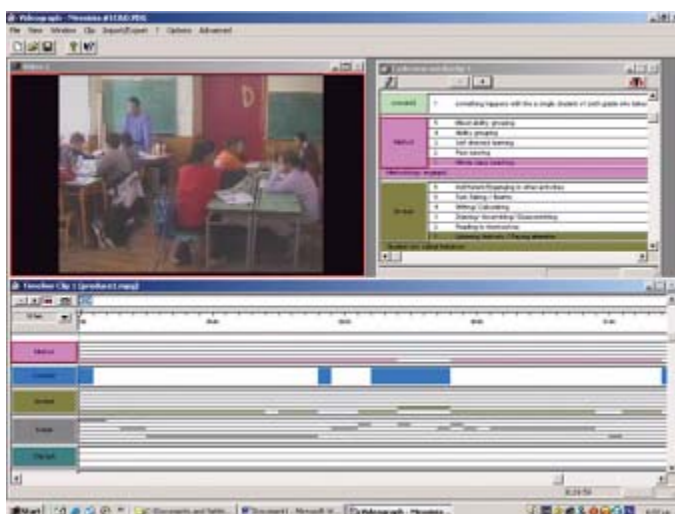
Επίδοση Μαθητών (επίτευξη γνωστικών στόχων)	Ερωτηματολόγιο TIMSS
Μαθησιακές Διαδικασίες	Βιντεοσκόπηση
Στάσεις μαθητών απέναντι στην εκπαιδευτική προσέγγιση	Βιντεοσκόπηση
Χαρακτηριστικά Μαθήματος	Βιντεοσκόπηση
Εφαρμογή Μαθήματος	Βιντεοσκόπηση

Πίνακας 4.3: Το δείγμα Αξιολόγησης – Η εφαρμογή έγινε σε 18 σχολεία στην Ελλάδα, την Γερμανία, την Αυστρία και την Ιταλία και συμμετείχαν περίπου 400 μαθητές ηλικίας 15 με 16 χρονών.

Χώρα	Αριθμός Σχολείων	Τύπος Εφαρμογής	Αριθμός Μαθητών	Ηλικία (έτη)
Ελλάδα	5	Διδακτική Παρέμβαση	102	15-16
Γερμανία	4	Διδακτική Παρέμβαση	108	15-16
Αυστρία	6	Διδακτική Παρέμβαση	98	15-16
Ιταλία	3	Διδακτική Παρέμβαση	89	15-16

Ο Πίνακας 4.3 παρουσιάζει το δείγμα αξιολόγησης από τέσσερις χώρες: Ελλάδα, Γερμανία, Αυστρία και Ιταλία. Για τις ανάγκες της αξιολόγησης της εφαρμογής επιλέγησαν μαθητές ηλικίας 15-16 ετών που αντιστοιχούν στον Πληθυσμό TIMSS II. Τα αντίστοιχα ερωτηματολόγια έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να καλύπτουν τις θεματικές περιοχές του αναλυτικού προγράμματος των χωρών που συμμετέχουν. Καθώς τα σενάρια εφαρμογής του Lab of Tomorrow εντάσσονται στην ίδια θεματική περιοχή τα συγκεκριμένα ερωτηματολόγια μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά στις συγκεκριμένες ηλικιακές ομάδες.

Η διαδικασία αξιολόγησης του προτεινόμενου εκπαιδευτικού πλαισίου είναι συνδεδεμένη με την υλοποίηση του μαθήματος και την εκπαιδευτική πρακτική. Για να μπορέσουν να εντοπιστούν τα κύρια χαρακτηριστικά της εκπαιδευτικής πρακτικής αλλά και να εξασφαλιστεί το ότι η προτεινόμενη εκπαιδευτική προσέγγιση εφαρμόζεται με τη χρήση του συστήματος, τα μαθήματα βιντεοσκοπήθηκαν σε όλη τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς. Ακολούθησε ανάλυση των βιντεοσκοπημένων μαθημάτων.



Εικόνα 4.3: Περισσότερες από 500 ώρες βιντεοσκοπημένης διδασκαλίας συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν διεξοδικά με τη χρήση του λογισμικού Videograph. Η ανάλυση των στιγμιοτύπων έδωσε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση της προτεινόμενης εφαρμογής στην καθημερινή διδακτική πρακτική των εκπαιδευτικών που έλαβαν μέρος στις εκπαιδευτικές δραστηριότητες.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Videograph. Αφού ορίστηκαν οι βασικές παράμετροι παρατήρησης για την εκπαιδευτική προσέγγιση (μονόλογος, ερωτήσεις/απαντήσεις,

πειραματισμός, συζήτηση) και τις δραστηριότητες των μαθητών (επίλυση προβλημάτων, πειραματισμός με τη χρήση του συστήματος, ανάλυση δεδομένων, παρουσιάσεις εργασιών) τα βιντεοσκοπημένα μαθήματα χωρίστηκαν σε μικρά χρονικά διαστήματα (περίπου 20sec) και σε κάθε χρονικό διάστημα αποδόθηκε ένας μοναδικός χαρακτηρισμός με βάση την αρχική παραμετροποίηση. Με τον τρόπο αυτό αποτυπώθηκε ένα αναλυτικό «προφίλ» του κάθε μαθήματος. Επιπρόσθετα, χάρη στη βιντεοσκόπηση, αποτυπώθηκαν πολύ χρήσιμα στοιχεία για την δομή των μαθημάτων, για τις αλλαγές που επιφέρει η χρήση του συστήματος στην εκπαιδευτική πρακτική αλλά και κύρια για το χρόνο που αφιερώνουν οι εκπαιδευτικοί για την επίτευξη των διδακτικών στόχων.

Η εφαρμογή της διαδικασίας αξιολόγησης πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση οι εκπαιδευτικοί έπρεπε να ενσωματώσουν στην εκπαιδευτική πρακτική σενάρια χρήσης του συστήματος που είχαν προετοιμαστεί από την ερευνητική μας ομάδα. Στη δεύτερη φάση εκπαιδευτικοί και μαθητές είχαν την δυνατότητα να σχεδιάσουν τα δικά τους σενάρια χρήσης και να υλοποιήσουν τα δικά τους πειράματα. Τα ερωτηματολόγια TIMSS εφαρμόστηκαν δύο φορές, μία φορά πριν την έναρξη της πρώτης φάσης και μία φορά μετά την ολοκλήρωση της δεύτερης φάσης. Δραστηριότητες και από τις δύο φάσεις βιντεοσκοπήθηκαν και αρχειοθετήθηκαν ανάλογα. Σε κάθε τάξη που συμμετείχε βιντεοσκοπήθηκαν και ορισμένες ώρες μαθήματος πριν την έναρξη της διδακτικής παρέμβασης ώστε να χρησιμοποιηθούν ως αναφορά για την παρουσίαση του «προφίλ» της διδασκαλίας σε κάθε τάξη εφαρμογής πριν και μετά την εφαρμογή. Ο συνολικός χρόνος υλοποίησης της διδακτικής παρέμβασης ήταν 8 μήνες (ένα πλήρες σχολικό έτος) ενώ το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην πραγματοποίηση των αξιολογήσεων TIMSS ήταν 9 μήνες. Κατά μέσον όρο βιντεοσκοπήθηκαν 20 διδακτικές ώρες σε κάθε τάξη εφαρμογής.

Τα μαθήματα που βιντεοσκοπήθηκαν οργανώθηκαν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες με βάση τις διαφορετικές φάσεις εφαρμογής. Στην πρώτη κατηγορία (Τύπος Α) εντάσσονται τυπικά μαθήματα που χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά και αναδεικνύουν την διδακτική πρακτική σε κάθε σχολείο. Οι βιντεοσκοπήσεις των τυπικών μαθημάτων έγιναν σε όλες τις τάξεις πριν την έναρξη της εφαρμογής της διδακτικής παρέμβασης. Στην δεύτερη κατηγορία (Τύπος Β) εντάσσονται τα μαθήματα της πρώτης φάσης εφαρμογής της διδακτικής παρέμβασης όπου οι εκπαιδευτικοί έπρεπε να ενσωματώσουν στην εκπαιδευτική πρακτική σενάρια χρήσης του συστήματος που είχαν προετοιμαστεί από την ερευνητική μας ομάδα. Η διδακτική παρέμβαση βασίζεται στην εκπόνηση ειδικά διαμορφωμένων σχεδίων μαθήματος που επιτρέπουν την αρμονική εισαγωγή της προτεινόμενης τεχνολογίας στο σχολείο και την εξοικείωση μαθητών και εκπαιδευτικών με αυτή.

Τα νέα εκπαιδευτικά εργαλεία εισάγονται ως επιπρόσθετο μέσο υποβοήθησης της διδασκαλίας σε συμφωνία με τις επιταγές του εκπαιδευτικού πρωτοκόλλου (αναλυτικό πρόγραμμα, θεματολογία). Στην τρίτη κατηγορία (Τύπος Γ) εντάσσονται μαθήματα που προσεγγίζουν ακόμα περισσότερο το ανακαλυπτικό μοντέλο διδασκαλίας στο πλαίσιο των οποίων εκπαιδευτικοί και μαθητές είχαν τη δυνατότητα να σχεδιάσουν τα δικά τους σενάρια χρήσης και να υλοποιήσουν τα δικά τους πειράματα χρησιμοποιώντας το σύστημα Lab of Tomorrow. Στο πλαίσιο των μαθημάτων αυτών οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές ήταν τελείως ελεύθεροι να σχεδιάσουν τα δικά τους πειράματα υποκινούμενοι από δραστηριότητες τις οποίες οι ίδιοι επιθυμούσαν να μελετήσουν. Οι μαθητές είχαν επίσης τη δυνατότητα να προτείνουν νέα ευφυή παιχνίδια τα οποία θα ήθελαν να κατασκευαστούν. Η ανακαλυπτική προσέγγιση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών εκφράζεται πλήρως κατά το στάδιο αυτό ενώ ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στη ανάλυση των παρατηρήσεων αυτής της φάσης και κατά την διάρκεια της αξιολόγησης (παράγραφοι 4.3.2 και 4.3.3). Αξίζει να σημειωθεί εδώ, ότι η χρήση των αισθητήρων του προτεινόμενου εξοπλισμού δεν περιορίστηκε μόνο στην τοποθέτησή τους πάνω στο ανθρώπινο σώμα, αλλά χρησιμοποιήθηκαν σε πληθώρα άλλων πειραμάτων όπως π.χ. σε ένα βαγόνι που ακολουθεί μια απλή τροχιά σε ένα κεκλιμένο επίπεδο, ή ένα τριαινάκι που εκτελεί κυκλική κίνηση κλπ. ώστε να μελετηθούν με απλό τρόπο βασικοί φυσικοί νόμοι και φαινόμενα όπως για παράδειγμα η διατήρηση της ενέργειας, το φαινόμενο της τριβής κλπ. Εναπόκειται λοιπόν στην φαντασία των μαθητών και των εκπαιδευτικών και στην πρωτοβουλία που θα αναπτύξουν, η δυνατότητα

αξιοποίησης και εκμετάλλευσης του όλου συστήματος με τον καλύτερο και πλέον δημιουργικό τρόπο, έτσι ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα στην εκμάθηση και κατανόηση.

4.3.2 Ανάλυση Δεδομένων από τα Ερωτηματολόγια TIMSS

Η ανάλυση των δεδομένων βασίζεται στη μέθοδο IRT (Item Response Theory) και παρουσιάζει την μέση απόδοση της κάθε τάξης με μέση τιμή την τιμή 500. Οι κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στα δεδομένα του 1995. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία επιτρέπει την πραγματοποίηση συγκριτικής ανάλυσης μεταξύ των δεδομένων κάθε τάξης. Πρέπει να επισημανθεί πως οι κλίμακες TIMSS δεν μπορούν να περιγραφούν σε απόλυτες τιμές. Μόνο σχετικές συγκρίσεις μπορούν να γίνουν ανάμεσα στις επιδόσεις των τάξεων, των χωρών αλλά και μεταξύ διαδικασιών αξιολόγησης. Για την περίπτωση της διδακτικής μας παρέμβασης, οι μέσες τιμές των αξιολογήσεων πριν και μετά την εφαρμογή (για τη δοκιμασία στις Φυσικές Επιστήμες και στα Μαθηματικά) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Οι μέσες τιμές της επίδοσης των μαθητών στα ερωτηματολόγια TIMSS πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση.

Αποτελέσματα στις Φυσικές Επιστήμες						
Χώρα	Τύπος	N	Pre-Test (SD)	N	Post-Test (SD)	Διαφορά
Ελλάδα	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	102	585 (44)	102	621 (33)	36
Γερμανία	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	108	576 (42)	108	625 (40)	49
Αυστρία	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	98	592 (35)	98	628 (32)	36
Ιταλία	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	89	580 (46)	89	610 (42)	30
Αποτελέσματα στα Μαθηματικά						
Χώρα	Τύπος	N	Pre-Test (SD)	N	Post-Test (SD)	Διαφορά
Ελλάδα	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	102	590 (41)	102	632 (33)	42
Γερμανία	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	108	609 (38)	108	635 (32)	36
Αυστρία	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	98	586 (51)	98	612 (42)	26
Ιταλία	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	89	582 (56)	89	610 (52)	28

Τα δεδομένα παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στην απόδοση των μαθητών τόσο στα Μαθηματικά όσο και στις Φυσικές Επιστήμες. Οι Γερμανοί μαθητές παρουσιάζουν την σημαντικότερη αύξηση απόδοσης στις Φυσικές Επιστήμες ενώ οι Έλληνες μαθητές παρουσιάζουν την σημαντικότερη αύξηση στα Μαθηματικά. Οι Ιταλοί μαθητές παρουσιάζουν την

μικρότερη αύξηση στην απόδοση τους τόσο στα Μαθηματικά όσο και στις Φυσικές Επιστήμες. Θα πρέπει να σημειωθεί πως όλοι οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν είχαν προετοιμαστεί και εκπαιδευτεί στη χρήση του συστήματος. Οι εκπαιδευτικοί στην Ελλάδα και στη Γερμανία βέβαια ήταν πιο εξοικειωμένοι στην ένταξη καινοτόμων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία καθώς η ερευνητική μας ομάδα συνεργάζεται αρκετά χρόνια μαζί τους στο πλαίσιο σχετικών δραστηριοτήτων.

4.3.3 Ανάλυση Δεδομένων από τις Βιντεοσκοπήσεις

Τα συμπεράσματα από την ποσοτική ανάλυση ενισχύθηκαν και από τις παρατηρήσεις και την ανάλυση των δεδομένων από τις βιντεοσκοπήσεις. Η καταγραφή των δραστηριοτήτων στην τάξη προσφέρει μοναδικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους εκπαιδευτικούς για την βελτίωση των διδακτικών τους προσεγγίσεων. Η ακριβής αποτύπωση του μαθήματος βοηθά τον εκπαιδευτικό να αξιολογήσει την προσέγγιση που ακολουθεί, να μελετήσει τις αντιδράσεις των μαθητών και να παρακολουθήσει την εξέλιξη του μαθήματος «από απόσταση» μετά την ολοκλήρωση του και χωρίς την ένταση που δημιουργεί η διδασκαλία. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εντοπίσουν προβληματικές προσεγγίσεις, να επανεκτιμήσουν και να βελτιώσουν τον τρόπο εξήγησης φαινομένων ή πειραματικών αποτελεσμάτων.

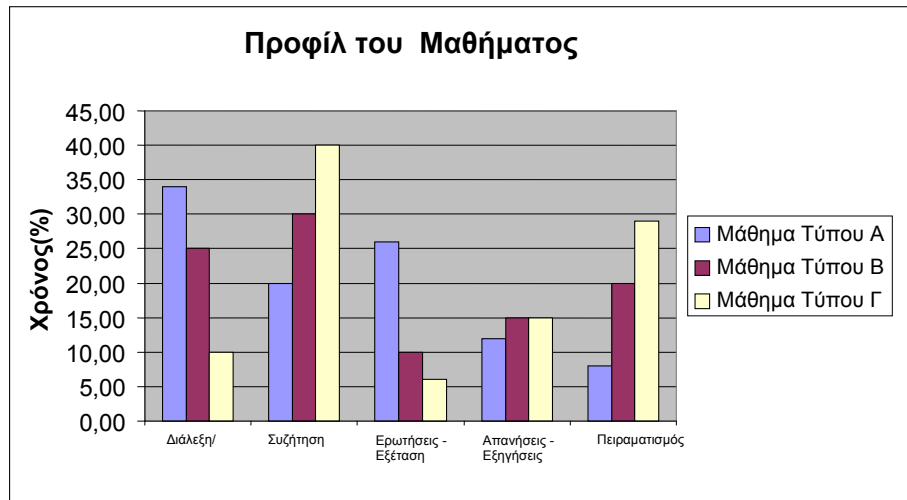


Εικόνα 4.4. Οι κύριες φάσεις και οι επιμέρους δραστηριότητες ενός μαθήματος σύμφωνα με το Ανακαλυπτικό διδακτικό μοντέλο. Στόχος είναι να καταγραφεί ο χρόνος που αφιερώνεται στις δραστηριότητες αυτές στο πλαίσιο του μαθήματος.

Το πιο σημαντικό σημείο της διαδικασίας είναι πάντως πως τόσο ο εκπαιδευτικός όσο και ο εκπαιδευτής μπορούν να έχουν στη διάθεση τους ένα «αντικειμενικό» προφίλ του μαθήματος το οποίο μπορεί να τους βοηθήσει να οργανώσουν τις δραστηριότητες του μαθήματος πιο αποτελεσματικά κατανέμοντας τον χρόνο που απαιτείται για την υλοποίηση των πιο σημαντικών φάσεων του μαθήματος, αποδίδοντας επίσης χρόνο στους μαθητές τους για την παρουσίαση των

απόψεων τους και την ανάδραση σε όσα έχουν διδαχθεί. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης οι διδακτικές προσεγγίσεις μελετήθηκαν σε βάθος με στόχο να συγκριθούν με την ανακαλυπτική προσέγγιση, όπως αυτή προτείνεται από τις τρέχουσες εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών και των Μαθηματικών σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες αλλά και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Rocard, 2007, Osborne and Dillon 2008). Οι βασικές φάσεις του ανακαλυπτικού μοντέλου μαζί με τις επιμέρους εκπαιδευτικές δραστηριότητες κάθε φάσης (εικόνα 4.4) ορίστηκαν στο λογισμικό ανάλυσης των βιντεοσκοπημένων μαθημάτων έτσι ώστε η χρονική τους διάρκεια να εκτιμηθεί στο συνολικό χρόνο του μαθήματος.

Οι συνεργάτες και εκπαιδευτικοί που πραγματοποίησαν τις βιντεοσκοπήσεις προετοιμάστηκαν κατάλληλα και ένας οδηγός με κατάλληλες οδηγίες ετοιμάστηκε και μοιράστηκε ώστε υποστηριχθεί καλύτερα η διαδικασία. Δοκιμαστικές βιντεοσκοπήσεις έγιναν σε όλες τις περιπτώσεις ώστε η ομάδα που πραγματοποιούσε τις βιντεοσκοπήσεις να κατανοήσει καλύτερα τις ιδιαιτερότητες του εγχειρήματος (π.χ. να εντοπίσει άμεσα το «κέντρο δραστηριότητας») αλλά και για να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός βαθμός εξοικείωσης των μαθητών αλλά και των εκπαιδευτικών με τη διαδικασία. Σε πολλές περιπτώσεις θεωρείται πως η τάξη δεν εργάζεται σε «κανονικές συνθήκες» όταν πραγματοποιούνται παρόμοιες παρατηρήσεις πεδίου. Στην προσέγγισή μας θεωρούμε πως οι παράγοντες αυτοί έχουν περιοριστεί σημαντικά καθώς πραγματοποιήθηκε πολύ μεγάλος αριθμός βιντεοσκοπήσεων (κανονικών και δοκιμαστικών) με αποτέλεσμα στο πλαίσιο των μαθημάτων η παρουσία των συνεργατών, να μπορούμε να θεωρήσουμε πως δεν επηρεάζει την «κανονική» λειτουργία της τάξης. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζουμε την ανάλυση των δεδομένων από τις βιντεοσκοπήσεις σχετικά με τις προσεγγίσεις των εκπαιδευτικών και το χρόνο που αφιερώνεται σε κάθε δραστηριότητα. Στη συνέχεια τα δεδομένα συγκρίνονται με την προσέγγιση του προτεινόμενου ανακαλυπτικού μοντέλου ώστε να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα της χρήσης του Lab of Tomorrow ως υποστηρικτικού εργαλείου για την ένταξη του ανακαλυπτικού μοντέλου στην εκπαιδευτική διαδικασία.



Εικόνα 4.5. Το προφίλ των μαθημάτων διαφορετικών τύπων που μελετήθηκαν στο πλαίσιο της ερευνητικής μας εργασίας όπως προκύπτει από την ανάλυση των βιντεοσκοπήσεων. Το διάγραμμα αποτυπώνει με ιδανικό τρόπο την μετάβαση από την παραδοσιακή στην Ανακαλυπτική εκπαιδευτική διαδικασία.

Εκπαιδευτικές Προσεγγίσεις

Τα δεδομένα από την ανάλυση των βιντεοσκοπημένων μαθημάτων ανέδειξαν με τον καλύτερο τρόπο την τροποποίηση της εκπαιδευτικής προσέγγισης που επέφερε η χρήση του συστήματος Lab of Tomorrow. Στην εικόνα 4.5 παρουσιάζονται τα προφίλ των διαφορετικών τύπων

μαθημάτων. Στα μαθήματα τύπου Α (παραδοσιακό μάθημα) ο χρόνος που αφιερώνεται στην παρουσίαση (διάλεξη) του εκπαιδευτικού είναι περίπου 35% κατά μέσον όρο στις τάξεις που έλαβαν μέρος στην εφαρμογή. Στο πλαίσιο του παραδοσιακού μαθήματος επίσης, παρατηρείται σημαντικό ποσοστό ερωτήσεων (25%) από τον εκπαιδευτικό (σε μορφή εξέτασης). Σύμφωνα με το ανακαλυπτικό μοντέλο ο μονόλογος και οι συνεχείς ερωτήσεις από τον εκπαιδευτικό προς τους μαθητές πρέπει να καλύπτουν πολύ μικρό ποσοστό του μαθήματος. Το γενικό συμπέρασμα από την ανάλυση των δεδομένων από τα «παραδοσιακά» μαθήματα σε όλες τις χώρες και τις τάξεις που συμμετείχαν στην εφαρμογή είναι ότι οι εκπαιδευτικοί ακολουθούν μία «θεωρητική» προσέγγιση που δεν αρμόζει σε ένα μάθημα Φυσικών Επιστημών αλλά ούτε στις σύγχρονες μαθητοκεντρικές προσεγγίσεις.

Στα μαθήματα τύπου Β (μάθημα που γίνεται ακολουθώντας ένα σενάριο που έχει σχεδιαστεί από την ερευνητική ομάδα του Lab of Tomorrow) τα παραπάνω χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται σημαντικά. Ο χρόνος διάλεξης περιορίζεται στο 25% του χρόνου του μαθήματος και ο χρόνος της εξέτασης στο 10%. Ο χρόνος συζήτησης αυξάνεται στο 30% ενώ ο χρόνος πειραματισμού καλύπτει το 20% του μαθήματος. Συνολικά για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα του μαθήματος (περισσότερο από 50%) οι μαθητές έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Τέλος στα μαθήματα τύπου Γ αναδεικνύεται η αξία του συστήματος στην προώθηση της ανακαλυπτικής μεθόδου. Η διάλεξη του εκπαιδευτικού καταναλώνει μόνο 10% του χρόνου του μαθήματος, ενώ η συζήτηση και ο πειραματισμός (βασικά χαρακτηριστικά του ανακαλυπτικού μοντέλου) καλύπτουν το 70% του μαθήματος.

Υποστηρίζοντας την εφαρμογή του Ανακαλυπτικού Μοντέλου στην Εκπαιδευτική Πράξη

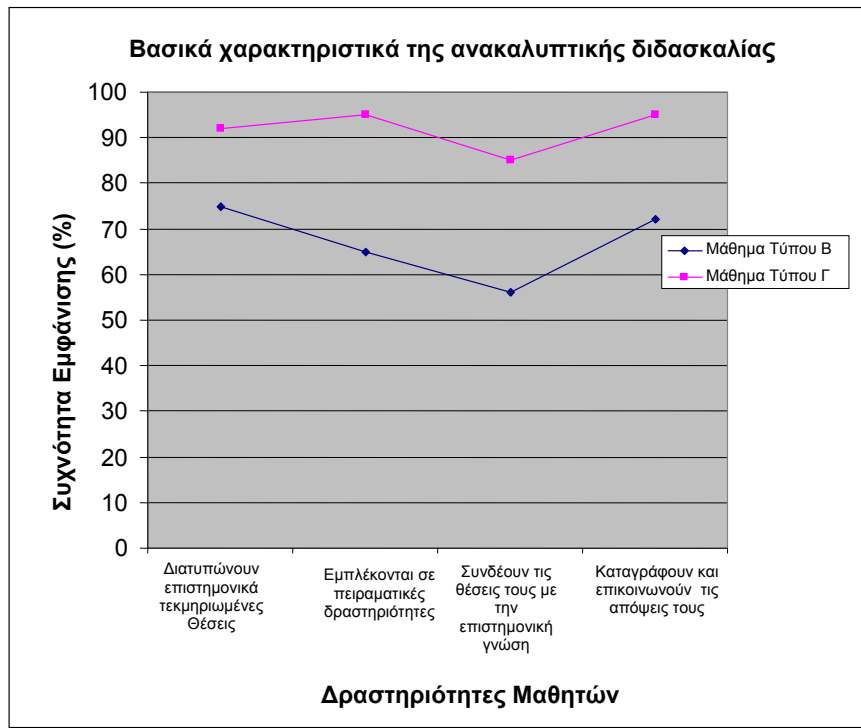
Εάν θελήσει κάποιος να περιγράψει τα κύρια (ή απαραίτητα) χαρακτηριστικά της ανακαλυπτικής διδασκαλίας θα μπορούσε να αναφέρει τις εξής βασικές δραστηριότητες στις οποίες θα πρέπει να εμπλέκεται ο μαθητής:

- Να καλείται να απαντήσει σε ερωτήσεις που βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα
- Να δίνει προτεραιότητα στα δεδομένα και τα στοιχεία που έχει στη διάθεση του για να απαντήσει στις ερωτήσεις που τίθενται.
- Να εμπλέκεται σε πειραματικές δραστηριότητες που θα τον βοηθούν να τεκμηριώσει επιστημονικά τις απόψεις του.
- Να συνδέει τις απόψεις του με την επιστημονική γνώση.
- Να είναι σε θέση να καταγράφει και να επικοινωνεί τις απόψεις του.

Σε μία προσπάθεια να καταγράψουμε το κατά πόσον τα μαθήματα που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του συστήματος Lab of Tomorrow περιλαμβάνουν τις συγκεκριμένες δραστηριότητες και εμπλέκουν τους μαθητές στην επιστημονική μεθοδολογία πραγματοποιήσαμε νέα ανάλυση των βιντεοσκοπημένων μαθημάτων καθορίζοντας ως βασικές παραμέτρους παρατήρησης τις δραστηριότητες των μαθητών με βάση τα παραπάνω βασικά χαρακτηριστικά της ανακαλυπτικής διδασκαλίας.

Η εικόνα 4.6 παρουσιάζει τη συχνότητα παρουσίασης των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων στα μαθήματα τύπου Β και Γ που πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του συστήματος. Για τη δημιουργία του γραφήματος πραγματοποιήθηκε ανάλυση περίπου 200 διδακτικών ωρών. Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στην εικόνα 4.6 ενισχύουν τα προηγούμενα ποσοτικά και ποιοτικά μας ευρήματα καθώς αποδεικνύουν πως τα κύρια χαρακτηριστικά του ανακαλυπτικού εκπαιδευτικού μοντέλου παρουσιάζονται σε εξαιρετικά μεγάλο ποσοστό των μαθημάτων. Ειδικότερα στα μαθήματα τύπου Γ όπου μαθητές και εκπαιδευτικοί έχουν την ευκαιρία να σχεδιάσουν τα δικά τους πειράματα και να λειτουργήσουν πιο «ελεύθερα», στα πλαίσια πάντα

του αναλυτικού προγράμματος το ποσοστό εμφάνισης των βασικών χαρακτηριστικών της ανακαλυπτικής διδασκαλίας ξεπερνά το 90%.



Εικόνα 4.6. Η συχνότητα εμφάνισης των κύριων χαρακτηριστικών της ανακαλυπτικής διδασκαλίας στις δραστηριότητες των μαθητών στα μαθήματα τύπου Β και Γ που πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα Lab of Tomorrow.

4.4 Συμπεράσματα

Το σύστημα Lab of Tomorrow και η προτεινόμενη προσέγγιση δοκιμάστηκαν σε 18 σχολεία στην Ελλάδα, την Γερμανία, την Αυστρία και την Ιταλία. Στην διαδικασία αξιολόγησης συμμετείχαν περίπου 400 μαθητές ηλικίας 15 με 16 χρονών. Οι μαθητές συμμετείχαν στη εκπαιδευτική προσέγγιση για ολόκληρη τη σχολική χρονιά ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Συγκεντρώθηκαν ποσοτικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αξιολόγησης TIMSS που αποτελεί σημείο αναφοράς σε διεθνές επίπεδο για την καταγραφή των επιδόσεων των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες και τα Μαθηματικά.

Επιπρόσθετα βιντεοσκοπήθηκαν 500 ώρες μαθημάτων με στόχο να μελετηθεί σε βάθος η ένταξη της εκπαιδευτικής προσέγγισης στην εκπαιδευτική διαδικασία και να διαπιστωθεί εάν η καταγραφόμενη βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών συνδυάζεται πραγματικά με την τροποποίηση της εκπαιδευτικής προσέγγισης. Για το λόγο αυτό τα βιντεοσκοπημένα μαθήματα μελετήθηκαν από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες. Στην πρώτη περίπτωση μελετήθηκε το προφίλ του κάθε μαθήματος με βάση τις εκπαιδευτικές προσεγγίσεις των εκπαιδευτικών και με αναφορά τις παραμέτρους που προκύπτουν από τις βασικές εκπαιδευτικές δραστηριότητες που αυτές περιλαμβάνουν (διάλεξη, εξέταση, διάλογο, πειραματισμό, κλπ.). Στη δεύτερη περίπτωση τα ίδια μαθήματα μελετήθηκαν με σημείο αναφοράς τις δραστηριότητες των μαθητών και τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διέπουν την ανακαλυπτική διδασκαλία.

Σε όλες τις περιπτώσεις, ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα συγκλίνουν πως η χρήση του συστήματος Lab of Tomorrow, πλαισιωμένου με την προτεινόμενη εκπαιδευτική προσέγγιση μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στην βελτίωση της εκπαιδευτικής πρακτικής στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών που ακολουθείται σήμερα σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες καθώς:

- βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των μαθητών σε γνωστικό επίπεδο συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση φυσικών φαινομένων (που αφορούν κύρια στους νόμους της Μηχανικής) και των φυσικών νόμων που τα διέπουν συνδυάζοντας αρμονικά τις καθημερινές δραστηριότητες των μαθητών με τον επιστημονικό πειραματισμό.
- υποστηρίζει αποτελεσματικά την ένταξη ανακαλυπτικών προσεγγίσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία μεταφέροντας το επίκεντρο του ενδιαφέροντος στον μαθητή, εμπλέκοντας τον ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, αυξάνοντας τελικά τον ενδιαφέρον του για το μάθημα και τα υπό μελέτη θέματα
- υποστηρίζει το έργο του εκπαιδευτικού διαφοροποιώντας το προφίλ του παραδοσιακού μαθήματος καθώς προσφέρει ένα περιβάλλον στο οποίο η κάθε δραστηριότητα (πχ το παιχνίδι των μαθητών) μπορεί να αποτελέσει αφορμή για την παρουσίαση φυσικών φαινομένων και εννοιών που μέχρι σήμερα παρουσιάζονται με τρόπο θεωρητικό και απόμακρο, περιορίζοντας σημαντικά το ενδιαφέρον των μαθητών.
- εμπλουτίζει το μάθημα με μία σειρά από δραστηριότητες που αποτελούν τη βάση για την ένταξη της επιστημονικής μεθοδολογίας στην εκπαιδευτική πράξη και την ανάπτυξη σχετικών δεξιοτήτων στους μαθητές (παρουσίαση τεκμηριωμένων απόψεων, οργάνωση σκέψης, ανάπτυξη κριτικής σκέψης, δυνατότητα συνεργασίας, παρουσίαση αποτελεσμάτων στο κοινό).

5 Συνδέοντας Τυπικά και Άτυπα περιβάλλοντα μάθησης – Οπτικοποιώντας Η/Μ και Ηχητικά Κύματα

5.1 Εισαγωγή

Η εκπαιδευτική έρευνα τα τελευταία χρόνια διερευνά την αναθεώρηση του ρόλου του σχολείου στην εκπαίδευση των νέων, έτσι ώστε να απομακρυνθούμε από το παραδοσιακό πρότυπο του εκπαιδευτικού- παρόχου, και του μαθητή- παθητικού δέκτη πληροφορίας και να κινηθούμε προς ένα πιο μαθητοκεντρικό μοντέλο. Σε αυτό το παιδαγωγικό όραμα, η λειτουργία του σχολείου προσαρμόζεται στις πραγματικές ανάγκες του μαθητή και της κοινωνίας στοχεύοντας στη δημιουργία ανθρώπων ικανών να ενταχθούν σε μία διαδικασία δια βίου μάθησης, να λύνουν πραγματικά προβλήματα και να εργάζονται αποτελεσματικά μέσα σε μία ομάδα. Ειδικά στην Ελλάδα, ο τρόπος διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών φαίνεται να μην μπορεί να ανταποκριθεί στις σύγχρονες απαιτήσεις. Η χώρα μας καταλαμβάνει σταθερά χαμηλές θέσεις στις σχετικές μετρήσεις (PISA 2000, 2003, 2006, 2009), καθιστώντας επιτακτική ανάγκη την ανασκόπηση και αναθεώρηση του εκπαιδευτικού μοντέλου που ακολουθούμε. Σημαντικός, αν και μέχρι σήμερα υπο-εκτιμημένος, σύμμαχος στη μάχη για καλύτερη εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, είναι η σύγχρονη εκπαιδευτική τεχνολογία. Η χρήση των νέων τεχνολογιών δίνει στον εκπαιδευτικό μοναδικές δυνατότητες επιτρέποντάς του να εφαρμόζει σύγχρονες παιδαγωγικές μεθόδους προερχόμενες από τις θεωρίες του κονστрукτιβισμού και της διερευνητικής μάθησης και να εξατομικεύει την εκπαιδευτική διαδικασία σύμφωνα με τις ανάγκες του μαθητή. Επιπλέον, δίνεται η μοναδική ευκαιρία να γεφυρώσουμε το χάσμα ανάμεσα στην επιστημονική έρευνα και την εκπαίδευση αλλά και ανάμεσα στην τυπική, αυστηρά δομημένη εκπαιδευτική προσέγγιση του σχολείου και την άτυπη, πιο δημιουργική μάθηση η οποία εμπεριέχει το παιχνίδι και τη διασκέδαση. Η άτυπη αυτή μάθηση λαμβάνει χώρα παντού: στα μουσεία, στα κέντρα επιστημών και στην καθημερινή μας δραστηριότητα.

Η λειτουργία του Κέντρου Διάδοσης των Επιστημών στη Θεσσαλονίκη και της διαδραστικής έκθεσης του Ιδρύματος Ευγενίδου³ στην Αθήνα στα τέλη του 2007 ανοίγουν νέους ορίζοντες στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στη χώρα μας. Εκτεταμένες έρευνες στο εξωτερικό αναδεικνύουν τη σημασία αλλά και την προστιθέμενη αξία για τη μάθηση, των επισκέψεων των μαθητών σε τέτοιους χώρους. Η απλούστευση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων και η παρουσίασή τους μέσα από ευχάριστες ανακαλυπτικές δραστηριότητες, βοηθά τους νεαρούς μαθητές να κατανοήσουν αλλά και να βιώσουν τις αρχές και τους νόμους που τα διέπουν. Η σύνδεση τέτοιων άτυπων δραστηριοτήτων με το αναλυτικό πρόγραμμα του σχολείου, θα μπορούσε να αποτελέσει την αρχή μίας εκπαιδευτικής καινοτομίας που θα άλλαζε το σκηνικό στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών (Eraut 2000⁸¹, ECSITE 2003⁸², Fitzpatrick και Stringer 2007⁸³). Η προτεινόμενη μελέτη παρουσιάζει μία καινοτόμο παιδαγωγική προσέγγιση που επιχειρεί να συνδέσει το παραδοσιακό μάθημα και το υπάρχον αναλυτικό πρόγραμμα (τυπική μάθηση), με εκπαιδευτικές επισκέψεις και δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε ένα επιστημονικό κέντρο και βασίζονται στην ελεύθερη επιλογή των μαθητών να αλληλεπιδράσουν με μερικά ή όλα τα εκθέματα και να εμβαθύνουν ή όχι στις έννοιες ή τα φαινόμενα που περιγράφονται από αυτά (άτυπη μάθηση).

Η προτεινόμενη προσέγγιση, αναφέρεται σε έννοιες και φαινόμενα που είναι δυσνόητα για τους μαθητές και επιχειρεί να συνδέσει τη διδασκαλία τους με την παρουσίαση των εννοιών και των

³ Οι όροι τεχνολογικό πάρκο (technology park) και επιστημονικό κέντρο (science centre) αναφέρονται σε χώρους που προωθούν τη κατανόηση των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας από το πλατύ κοινό. Στόχος τους είναι η δημόσια εμπλοκή με την Επιστήμη μέσω προσβάσιμων, αλληλεπιδραστικών εκθεμάτων και προγραμμάτων. Άλλοι χώροι με κοινούς στόχους είναι τα μουσεία, οι ζωολογικοί κήποι, τα ενυδρεία ή τα μουσεία φυσικής ιστορίας. Το πρώτο επιστημονικό κέντρο ήταν το Exploratorium στο Σαν Φραντζίσκο, ΗΠΑ, που δημιουργήθηκε το 1969 από τον Frank Oppenheimer.

φαινομένων αυτών μέσω των εκθεμάτων και των πειραμάτων του επιστημονικού κέντρου. Οι μαθητές μπορούν να βιώσουν για παράδειγμα την ανάπτυξη ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων γύρω από ρευματοφόρους αγωγούς, να δουν την επίδραση της δύναμης Lorentz στην τροχιά ενός ηλεκτρονίου, να κατανοήσουν γιατί πετούν τα αεροπλάνα και πολλά άλλα. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality AR) που επιτρέπει την οπτικοποίηση φαινομένων που δεν είναι ορατά. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε

- α) την προτεινόμενη τεχνολογική λύση και τη μεθοδολογία σχεδιασμού και ανάπτυξης εκπαιδευτικών σεναρίων για τη διδασκαλία ηλεκτρομαγνητικών και κυματικών φαινομένων σε μαθητές Β' και Γ' Λυκείου.
- β) τη μελέτη και την καταγραφή των δυνατοτήτων και των προσαρμογών του συστήματος για την πραγματοποίηση «εικονικών» επισκέψεων για μαθητές και εκπαιδευτικούς που βρίσκονται σε απομακρυσμένα σχολεία και δεν έχουν τη δυνατότητα να επισκεφτούν τους συγκεκριμένους χώρους.
- γ) την ανάπτυξη μίας διαδικτυακής εφαρμογής που μπορεί να υποστηρίξει το έργο του εκπαιδευτικού για την προετοιμασία της επίσκεψης (πραγματικής ή εικονικής).
- δ) την μεθοδολογία και τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων αυτών στο πλαίσιο πραγματικών και εικονικών επισκέψεων.

Το σκέλος αυτό της ερευνητικής μας εργασίας υποστηρίχθηκε από δύο μεγάλα Ευρωπαϊκά έργα, το EXPLOAR (Δράση Δια Βίου Μάθηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής) και το έργο ΦΤΕΡΑ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ (Δράση AERO-SPACE της Ευρωπαϊκής Επιτροπής), τα οποία συντονίζει το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνίας και Υπολογιστών.

5.2 Παιδαγωγική Προσέγγιση - Σχεδιασμός Εκπαιδευτικών Διαδρομών

Η προστιθέμενη αξία της εισαγωγής των νέων εκπαιδευτικών εργαλείων και των υποστηρικτικών τεχνολογιών, έγκειται στην αναβάθμιση της υπάρχουσας εκπαιδευτικής πραγματικότητας και ειδικότερα σε περιοχές όπου οι παρούσες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις φαίνεται να αποτυγχάνουν (Osborne and Dillon 2008). Μία χαρακτηριστική περίπτωση είναι η διδασκαλία των φυσικών επιστημών ειδικότερα στις τάξεις του Λυκείου. Οι διδασκόμενες έννοιες (π.χ. ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, διάδοση του ήχου) παρουσιάζονται στους μαθητές με θεωρητικό τρόπο, ασύνδετες με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών. Το αποτέλεσμα είναι η διδασκαλία να μην κεντρίζει το ενδιαφέρον των μαθητών και αυτοί με τη σειρά τους να χάνουν το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες αλλά και γενικότερα για τις διαδικασίες της επιστημονικής μεθοδολογίας (Koulaidis 2003)⁸⁴.

Το παράδοξο είναι ότι όλες οι έννοιες των Φυσικών Επιστημών που διδάσκονται στο σχολείο αφορούν στις καθημερινές μας δραστηριότητες και είναι άμεσα συνδεδεμένες με την καθημερινή μας ζωή. Κι όμως η εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθείται στο σύνολο των σχολείων (όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό) αγνοεί επίμονα αυτούς τους ισχυρότατους δεσμούς. Τα αποτελέσματα διεθνών ερευνών (Owston 2006⁸⁵, Rocard 2007, Osborne and Dillon 2008) έρχονται να επιβεβαιώσουν την αστοχία των σημερινών εκπαιδευτικών προσεγγίσεων και να τονίσουν την ανάγκη για αλλαγή του σκηνικού καθώς η απογοήτευση των μαθητών στα τελευταία χρόνια των σπουδών τους απέναντι στις φυσικές επιστήμες μοιραία οδηγεί στη δημιουργία μίας κοινωνίας όπου η επιστημονική σκέψη δεν φαίνεται να αποτελεί το βασικό κριτήριο λήψης αποφάσεων. Τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο η προετοιμασία των νέων με όλα εκείνα τα εφόδια που απαιτούνται για να λειτουργήσουν και να δημιουργήσουν στην Κοινωνία της Γνώσης είναι βασικός στόχος. Η αλλαγή στάσης της κοινής γνώμης και ειδικότερα των νέων

απέναντι στις φυσικές επιστήμες αποτελεί αυτή τη στιγμή κύρια προτεραιότητα των περισσότερων εκπαιδευτικών συστημάτων στην Ευρώπη (Rocard 2007).

Η υπόθεση που αποτελεί τη βάση της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας είναι ότι η προσθήκη οπτικοποιήσεων και προσομοιώσεων των υπό μελέτη φυσικών φαινομένων, στην παραδοσιακή εκπαιδευτική πρακτική θα βοηθήσει τους μαθητές, να εκφράσουν καλύτερα τα νοητικά μοντέλα τους, να κάνουν καλύτερες προβλέψεις και να πραγματοποιούν αποτελεσματικότερους συλλογισμούς. Επιπρόσθετα η άμεση διασύνδεση του περιεχομένου του αναλυτικού προγράμματος με τα εκθέματα του κέντρου επιστημών ή του μουσείου φιλοδοξεί να ενισχύσει και να αναδείξει το πηγαίο ενδιαφέρον των μαθητών για την κατανόηση του κόσμου που μας περιβάλλει.

Επεκτείνοντας τα όρια της σχολικής τάξης και εντάσσοντας στην εκπαιδευτική διαδικασία τεχνικές άτυπης μάθησης είναι πιθανόν να βελτιωθεί η εικόνα της διδακτικής των θετικών επιστημών και να προσφερθούν σε εκπαιδευτικούς και μαθητές νέες εκπαιδευτικές εμπειρίες (Falk 2001⁸⁶, Salmi 2003⁸⁷, Fenichel and Schweingruber, 2010⁸⁸). Οι προηγμένες τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά σε αυτό, εφόσον βέβαια χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά. Κύριος στόχος της προτεινόμενης προσέγγισης είναι η καταπολέμηση των λανθασμένων αντιλήψεων των μαθητών. Όπως πολλές έρευνες δείχνουν οι μαθητές σε πολλές περιπτώσεις μαθαίνουν και κατανοούν ευκολότερα συγκεκριμένες έννοιες σε δραστηριότητες άτυπης μάθησης που συχνά λαμβάνουν χώρα εκτός των ορίων της σχολικής τάξης, όπως οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες στα μουσεία φυσικών επιστημών αλλά και επισκέψεις σε επιστημονικά και ερευνητικά κέντρα. Είναι ευρύτερα αποδεκτό πως η θετική αυτή αντιμετώπιση έχει δυο κύριες ρίζες: α) την ελευθερία που δίνει η απομάκρυνση από το «επίσημο» σκηνικό της σχολικής αίθουσας και της τυπικής θεωρητικής εκπαιδευτικής προσέγγισης και τη θετική παρακίνηση των μαθητών προς την άτυπη μάθηση που βασίζεται στον πειραματισμό και β) την ενεργή εμπλοκή του μαθητή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων της άτυπης μάθησης, πρέπει να εκμεταλλευθεί κανείς την παρακινητική επίδραση της ελευθερίας και του φυσικού περιβάλλοντος. Στόχος της προσέγγισής μας είναι η γεφύρωση των ξεχωριστών χώρων όπου η μάθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί (σχολείο, μουσείο, κέντρο διάδοσης επιστημών), με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και δραστηριοτήτων που εισάγουν μεθοδικά τις φυσικές έννοιες βοηθώντας στην κατανόησή τους. Έτσι με τη βοήθεια της ψηφιακής τεχνολογίας μαθητές και εκπαιδευτικοί εμπλέκονται σε δημιουργικές διερευνήσεις και εφευρετικές εξερευνήσεις. Στοχεύουμε στην παρουσίαση μιας καινοτόμου προσέγγισης που καταργεί τα όρια μεταξύ της σχολικής τάξης, του μουσείου, του ερευνητικού κέντρου και εμπλέκει τους μαθητές σε δραστηριότητες μάθησης δίνοντας κυρίαρχο ρόλο στον πειραματισμό και την ανακάλυψη.

Στη μελέτη μας αυτή επεκτείνουμε το ανακαλυπτικό μοντέλο για τον σχεδιασμό μιας διευρυμένης εκπαιδευτικής δραστηριότητας που πραγματοποιείται εντός και εκτός των ορίων της σχολικής τάξης. Στην προσέγγισή μας η εκπαιδευτική επίσκεψη στο μουσείο ενσωματώνεται πλήρως στην τυπική εκπαιδευτική διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό τα εκθέματα του μουσείου προσφέρουν ένα ιδανικό περιβάλλον πειραματισμού, που δεν είναι διαθέσιμο σε καμία σχολική τάξη ή εργαστήριο. Η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση δομείται σε συγκεκριμένες φάσεις που περιλαμβάνουν σειρά δραστηριοτήτων και παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω.

A. Προετοιμασία

Βασικές πληροφορίες για τη προετοιμασία της εκπαιδευτικής διαδρομής.

B. Πριν την Επίσκεψη

• Διδακτική Φάση 1: Δραστηριότητες Εκμείωσης Ερωτήσεων

Πρόκληση της Περιέργειας: Ο εκπαιδευτικός περιγράφει τρόπους που θα χρησιμοποιήσει για να στρέψει την προσοχή των μαθητών στη διδασκόμενη ύλη.

Προσδιορισμός Ερωτήσεων με Βάση την Υφιστάμενη γνώση: Ο εκπαιδευτικός διατυπώνει τις ερωτήσεις με επιστημονική κατεύθυνση και τις παρουσιάζει στους μαθητές για να προκαλέσει τη σκέψη τους πάνω στο διδασκόμενο αντικείμενο βάσει της υφιστάμενης γνώσης τους.

- **Διδακτική Φάση 2: Ενεργή Διερεύνηση**
Πρόταση προκαταρκτικών εξηγήσεων ή υποθέσεων: Ο εκπαιδευτικός ενθαρρύνει τους μαθητές να προτείνουν πιθανές εξηγήσεις σχετικές με τα ερωτήματα που προέκυψαν από την προηγούμενη δραστηριότητα. Επίσης, ο εκπαιδευτικός εντοπίζει πιθανές παρανοήσεις των μαθητών.
Σχεδιασμός και υλοποίηση απλής διερεύνησης: Ο εκπαιδευτικός διευκολύνει τους μαθητές να εστιάσουν την προσοχή τους σε αποδεικτικά στοιχεία ως πηγή απαντήσεων σε επιστημονικά ερωτήματα.
- Γ. Επίσκεψη**
- **Διδακτική Φάση 3: Δημιουργία**
Συλλογή αποδεικτικών στοιχείων μέσω παρατήρησης: Ο εκπαιδευτικός χωρίζει τους μαθητές σε ομάδες. Κάθε ομάδα διατυπώνει και αξιολογεί τις εξηγήσεις σε σχέση με τα επιστημονικά ερωτήματα, βάσει των αποδεικτικών στοιχείων που θα έχει συλλέξει.
 - **Διδακτική Φάση 4: Συζήτηση**
Εξήγηση βασισμένη στα αποδεικτικά στοιχεία: Ο εκπαιδευτικός δίνει τη σωστή εξήγηση για το ερευνώμενο θέμα.
Θεώρηση άλλων εξηγήσεων: Οι ομάδες των μαθητών αξιολογούν τις δικές τους εξηγήσεις σε σχέση με άλλες εναλλακτικές εξηγήσεις, ιδιαίτερα εκείνες που δείχνουν επιστημονική κατανόηση.
- Δ. Μετά την Επίσκεψη**
- **Διδακτική Φάση 5: Ανασκόπηση**
Εξήγηση: Κάθε ομάδα μαθητών παράγει μια αναφορά με τα ευρήματα της ομάδας, στην οποία θα παρουσιάζει και θα δικαιολογεί προς τις άλλες ομάδες και τον εκπαιδευτικό τις εξηγήσεις που προτείνει.
Ακόλουθες Δραστηριότητες: Ο εκπαιδευτικός περιγράφει δραστηριότητες ή υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κλείσει η εμπειρία της επίσκεψης όπως κουίζ, παιχνίδια, άλλα και φιλικές διαδικασίες αξιολόγησης της δραστηριότητας.

Η προετοιμασία της εκπαιδευτικής επίσκεψης περιλαμβάνει επιπρόσθετα μία σειρά δραστηριοτήτων στην τάξη, όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παράγραφο 3.2.2. Πριν την επίσκεψη, οι μαθητές εμπλέκονται σε μία σειρά δραστηριότητες που είναι σχετικές με το έκθεμα ή τα εκθέματα που θα επισκεφθούν και τα φυσικά φαινόμενα που παρουσιάζουν. Στόχος είναι η εκπαιδευτική επίσκεψη να είναι εναρμονισμένη με την εξέλιξη του αναλυτικού προγράμματος και να πραγματοποιείται την χρονική περίοδο που οι μαθητές διαπραγματεύονται θέματα σχετικά με αυτά που παρουσιάζουν τα επιλεγμένα εκθέματα της έκθεσης. Η σύνδεση αυτή του σχολικού προγράμματος με τα εκθέματα του κέντρου επιστήμης υλοποιήθηκε στο έργο CONNECT με το σχεδιασμό μίας σειράς εκπαιδευτικών διαδρομών διαμέσου εκθεμάτων που περιγράφουν σχετικά φαινόμενα, βάσει ενός προκαθορισμένου σεναρίου, το οποίο περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις του μαθητή με τα εκθέματα μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (Sotiriou et al 2006, Arvanitis et al, 2008⁸⁹, Sotiriou and Bogner 2008⁹⁰). Στην παρούσα μελέτη επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στη μελέτη των κυμάτων, μία θεματική περιοχή που παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες στους μαθητές. Το σενάριο που αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη δοκιμάστηκε στο πλαίσιο πραγματικών και εικονικών επισκέψεων.

5.3 Σενάριο Εφαρμογής – Ηλεκτρομαγνητικά και Ηχητικά κύματα

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζουμε την εφαρμογή και τα αποτελέσματα μίας σειράς εκπαιδευτικών σεναρίων που αφορούν στη μελέτη των Η/Μ και Ηχητικών κυμάτων. Κύριος στόχος της εκπαιδευτικής διαδρομής ήταν να κατανοήσουν οι μαθητές τις βασικές αρχές της κυματικής και να είναι σε θέση να διακρίνουν τα διαμήκη και τα εγκάρσια κύματα. Τα εκθέματα που επιλέγησαν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν α) το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα β) τα

Παραβολικά Κάτοπτρα Διάδοσης του Ήχου και γ) το έκθεμα Ηχητικά Κύματα (Εικόνα 5.1 και εικόνα 5.2).

Στην πρώτη περίπτωση (Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα) ο μαθητής χρησιμοποιώντας τη φωτεινή δέσμη μπορεί να εξερευνήσει τις χρήσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον εικονογραφημένο πίνακα.

Στον πίνακα αυτό παρουσιάζονται οι εφαρμογές των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην καθημερινή ζωή: το ραντάρ, το κινητό τηλέφωνο, το τηλεκοντρόλ των ηλεκτρονικών συσκευών ή ακόμα και οι εφαρμογές στον τομέα της υγείας (όπως οι ακτινογραφίες). Επίσης, στον πίνακα αναγράφονται πληροφορίες χρήσιμες για την κάθε εφαρμογή όπως είναι οι συχνότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και οι περιοχές των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων όπου αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται. Για ευκολότερη μελέτη το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα έχει χωριστεί σε περιοχές που κάθε μία έχει και ξεχωριστό όνομα. Ο μαθητής στοχεύει με τη φωτεινή δέσμη μια εικόνα της επιλογής του. Όταν η δέσμη φωτίζει την εικόνα, η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (δηλ. του συνόλου των συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων) που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη ακτινοβολία φωτίζεται και τα χαρακτηριστικά αυτής της ακτινοβολίας παρουσιάζονται στην οθόνη. Μέσω τη χρήσης του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας οι μαθητές της ομάδας εφαρμογής είχαν την ευκαιρία να δουν επιπρόσθετες φωτογραφίες, επεξηγηματικά κείμενα, βίντεο (π.χ. Εικόνα 5.1) αλλά και προσομοιώσεις της διάδοσης του Η/Μ κύματος, των πυκνωμάτων και αραιωμάτων του αέρα, ενώ μπορούσαν περιφερόμενοι στο χώρο να διαπερνούν τα διαδιδόμενα Η/Μ και ηχητικά κύματα.



Εικόνα 5.1 Όταν ο μαθητής κατευθύνει το βλέμμα του στην περιοχή των υπέρυθρων ακτίνων (κόκκινο σημείο στην αντίστοιχη κυκλική περιοχή) στο οπτικό του πεδίο παρουσιάζεται σε ειδικό πλαίσιο ένα βίντεο που απεικονίζει τη θερμότητα που εκπέμπεται από ένα πιστολάκι μαλλιών. Η εικόνα αριστερά είναι στο ορατό φάσμα ενώ η εικόνα δεξιά στο υπέρυθρο. Με παρόμοιες εντυπωσιακές οπτικοποιήσεις επιχειρούμε να αυξήσουμε το ενδιαφέρον των μαθητών ώστε να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση των υπό μελέτη φυσικών φαινομένων.

Στη δεύτερη περίπτωση (Παραβολικά Κάτοπτρα) ο μαθητής ψιθυρίζει στο μικρό δίσκο που βρίσκεται στην εστία του ηχητικού κατόπτρου και ένας συμμαθητής του που βρίσκεται στην άλλη άκρη του χώρου (περίπου 20 μέτρα απόσταση) μπροστά από ένα δεύτερο ίδιο κάτοπτρο μπορεί να ακούσει εύκολα τη φωνή του. Στο συγκεκριμένο έκθεμα το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας «οπτικοποιεί» το αόρατο ακουστικό κύμα. Μάλιστα η οπτικοποίηση αυτή πραγματοποιείται με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη.



Εικόνα 5.2 Ανάμεσα στα εκθέματα που επιλέγησαν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν το Η/Μ φάσμα (αριστερά) και κάτοπτρα του ήχου (δεξιά). Στην πρώτη περίπτωση ο μαθητής μπορεί να πάρει πληροφορίες για τις διαφορετικές περιοχές του Η/Μ φάσματος κατευθύνοντας εκεί μία φωτεινή ακτίνα που ξεκινά από την κυλινδρική βάση μπροστά από το έκθεμα. Στην δεύτερη περίπτωση ο μαθητής ψιθυρίζει στο μικρό δίσκο που βρίσκεται στην εστία του κατόπτρου και ένας συμμαθητής του που βρίσκεται στην άλλη άκρη του χώρου (περίπου 20 μέτρα απόσταση) μπροστά από ένα δεύτερο ίδιο κάτοπτρο μπορεί να ακούσει εύκολα τη φωνή του.



Εικόνα 5.3 Το έκθεμα Ηχητικά Κύματα. Η διάταξη αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο το οποίο στη μία βάση του έχει μια ελαστική επιφάνεια και στην άλλη ένα κυκλικό άνοιγμα. Απέναντι από το κυλινδρικό αυτό δοχείο βρίσκονται κρεμασμένες ένα σύνολο στρογγυλών επιφανειών, οι οποίες είναι ελεύθερες να κινηθούν στην οριζόντια διεύθυνση. Ο μαθητής μπορεί να χτυπήσει την ελαστική επιφάνεια και να παρατηρήσει την αντίδραση των στρογγυλών επιφανειών.

Τέλος, σκοπός του εκθέματος Ηχητικά Κύματα είναι η παρουσίαση της φύσης ενός ηχητικού κύματος. Η διάταξη αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο το οποίο στη μία βάση του έχει μια ελαστική επιφάνεια και στην άλλη ένα κυκλικό άνοιγμα. Απέναντι από το κυλινδρικό αυτό δοχείο βρίσκονται κρεμασμένες ένα σύνολο στρογγυλών επιφανειών, οι οποίες είναι ελεύθερες να κινηθούν στην οριζόντια διεύθυνση. Ο μαθητής μπορεί να χτυπήσει την ελαστική επιφάνεια και να παρατηρήσει την αντίδραση των στρογγυλών επιφανειών. Ακούει τον ήχο του χτυπήματός του στο τύμπανο και μετά από λίγο χρόνο παρατηρεί την κίνηση των στρογγυλών πλαστικών δίσκων και τον ήχο που παράγεται καθώς αυτές συγκρούονται μεταξύ τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμπεριφορά των στρογγυλών πλαστικών δίσκων ακόμα και σε ασθενή χτυπήματα της μεμβράνης. Η διάταξη αυτή επιδεικνύει τον τρόπο, με τον οποίο η μηχανική ταλάντωση της επιφάνειας του τυμπάνου μεταφέρεται στους στρογγυλούς πλαστικούς δίσκους, μέσα από την δημιουργία και διάδοση ηχητικών κυμάτων, δηλαδή μηχανικών ταλαντώσεων των μορίων του αέρα. Το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας «οπτικοποιεί» το αόρατο ακουστικό κύμα, προσομοιώνοντας τις μηχανικές ταλαντώσεις των μορίων του αέρα μεταξύ του τυμπάνου και των στρογγυλών πλαστικών δίσκων.

5.3.1 Αναλυτική Περιγραφή του Σεναρίου

Στο σενάριο που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιούνται τρία εκθέματα της διαδραστικής έκθεσης του Ιδρύματος Ευγενίδου, α) το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα και β) τα Παραβολικά Κάτοπτρα Διάδοσης του Ήχου και γ) το έκθεμα Ηχητικά Κύματα. Με βάση το σχεδιασμό αυτό, ο μαθητής στην ουσία περιηγείται σε ένα μέρος της έκθεσης ενώ την ίδια στιγμή με τη χρήση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας, λαμβάνει επιπλέον πληροφορίες για τα εκθέματα που τον υποβοηθούν να καταλάβει το πραγματικό νόημα των φυσικών φαινομένων που αυτά απεικονίζουν. Η διαδρομή αυτή του μαθητή φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 5.4 που απεικονίζει τον χώρο της έκθεσης του Ιδρύματος Ευγενίδου.

Συγκεκριμένα ο μαθητής ακολουθεί μία καθορισμένη διαδρομή ξεκινώντας από το «σημείο 1» όπου βρίσκεται το έκθεμα του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος όπου παρουσιάζονται οι διαφορετικές φασματικές περιοχές. Στη συνέχεια κινείται ανάμεσα στα δύο παραβολικά κάτοπτρα όπου τα ακουστικά κύματα προσομοιώνονται από το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας σαν ταλαντώσεις των μορίων του αέρα «σημείο 2». Στη συνέχεια ο μαθητής επισκέπτεται το έκθεμα Ηχητικά Κύματα «σημείο 3». Την ίδια στιγμή η υπόλοιπη τάξη παρακολουθεί τη δραστηριότητα καθώς το οπτικό πεδίο του μαθητή που φορά το σύστημα «μεταφέρεται» σε μία μεγάλη οθόνη προβολής «σημείο 4». Με τον τρόπο αυτό η «εμπειρία της επαυξημένης πραγματικότητας» που βιώνει ο μαθητής μεταφέρεται αυτούσια και στους συμμαθητές του. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, με βάση την ίδια τεχνική είναι δυνατόν η ίδια εικόνα να μεταφερθεί και σε οποιαδήποτε άλλη απομακρυσμένη τάξη σε οποιοδήποτε σχολείο της Ελλάδας, μέσω της κατάλληλης ευρυζωνικής σύνδεσης.



Εικόνα 5.4 Η διαδρομή του μαθητή που φορά το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας ανάμεσα στα τρία επιλεγμένα εκθέματα της διαδραστικής έκθεσης του Ιδρύματος Ευγενίδου. Στον χώρο προβολής (4) οι συμμαθητές του έχουν την δυνατότητα να βλέπουν ότι και αυτός, καθώς η εικόνα από τον μικρό φορητό υπολογιστή του συστήματος μεταδίδεται ασύρματα μέσω του δικτύου Wi-Fi σε έναν κεντρικό υπολογιστή και από εκεί στο διαδίκτυο.

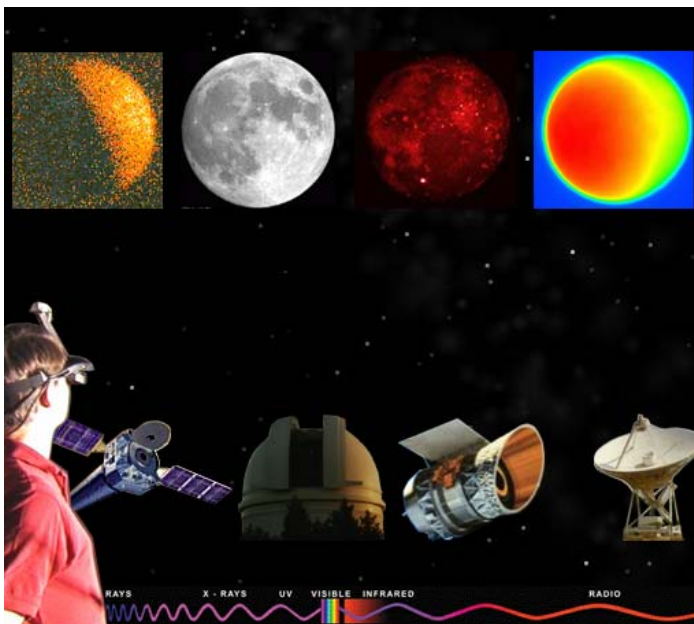
Θα προχωρήσουμε τώρα στην πιο αναλυτική παρουσίαση του σεναρίου παρουσιάζοντας βήμα-βήμα τις κινήσεις του μαθητή και την αντίστοιχη απόκριση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας. Το πρώτο έκθεμα το οποίο συναντά ο μαθητής καθώς ξεκινάει την επίσκεψη του φαίνεται στην Εικόνα 5.5.

Ο μαθητής στέκεται μπροστά στο Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα που απεικονίζει τις εξής 7 υπό-περιοχές του φάσματος μέσω κάποιων χαρακτηριστικών εικόνων και σχετικών επεξηγηματικών κειμένων: α) Ραδιοκύματα, β) Μικροκύματα, γ) Υπέρυθρη Ακτινοβολία, δ) Ορατό, ε) Υπεριώδη

Ακτινοβολία, στ) Ακτίνες Χ, ζ) Ακτίνες γ. Ο επισκέπτης του εκθέματος μέσω μίας συσκευής που βρίσκεται μπροστά στο έκθεμα μπορεί να επιλέξει ποια περιοχή του φάσματος θέλει να μελετήσει. Το εκπαιδευτικό περιεχόμενο που σχετίζεται με την επιλογή του επισκέπτη παρουσιάζεται στην οθόνη που βρίσκεται μπροστά στο έκθεμα. Για παράδειγμα, όταν ο μαθητής επιλέξει την περιοχή των ραδιοκυμάτων, στην οθόνη που βρίσκεται μπροστά στο έκθεμα απεικονίζεται ένα ραδιοτηλεσκόπιο, όταν επιλέξει την περιοχή των ακτινών Χ, παρουσιάζεται μία εικόνα από την ακτινογραφία ενός χεριού κλπ. Με τη χρήση του χειριστηρίου που βρίσκεται ακριβώς μπροστά στον χρήστη, ο μαθητής εγκλωβίζει μέσω μιας φωτεινής ακτίνας την υπό-περιοχή του φάσματος που τον ενδιαφέρει.



Εικόνα 5.5 Το έκθεμα «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» με ενδεικτικές οπτικοποιήσεις που παρουσιάζει το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας ανάλογα με το που στρέφει το βλέμμα του ο επισκέπτης. Οι πρόσθετες εικόνες που παρουσιάζονται στην εικόνα εμφανίζονται στον επισκέπτη όταν στρέψει το βλέμμα του στην αντίστοιχη περιοχή που σημειώνεται με κίτρινο σταυρό.



Εικόνα 5.6 Ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να δει εικόνες ουρανίων σωμάτων (όπως για παράδειγμα της Σελήνης) τραβηγμένες σε διαφορετικές περιοχές του Η/Μ φάσματος σε μία προσπάθεια καλύτερης και πιο αποτελεσματικής εμπέδωσης. Επιπρόσθετα σε μία προσπάθεια σύνδεσης του μαθήματος και με την Αστρονομία παρουσιάζονται, μαζί με τα ουράνια σώματα, τα τηλεσκόπια με τα οποία είναι δυνατόν να ληφθούν οι αντίστοιχες φωτογραφίες.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί για κάθε περιοχή του φάσματος. Αυτή είναι η τυπική χρήση του συγκεκριμένου εκθέματος και είναι η ίδια ανεξαρτήτως των ενδιαφερόντων και της ηλικίας του επισκέπτη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ηλικίες των επισκεπτών της έκθεσης, αλλά και το επίπεδο μόρφωσής τους διαφέρουν σημαντικά, γίνεται κατανοητό πόσο δύσκολη είναι η

επιλογή του περιεχομένου που θα παρουσιαστεί. Ο σχεδιαστής του περιεχομένου θα πρέπει μέσω μόνο μίας εικόνας και ενός σύντομου κειμένου να παρουσιάσει όλα εκείνα τα εκπαιδευτικά και ενημερωτικά στοιχεία που χρειάζονται για να καλύψουν τις ανάγκες και τα ενδιαφέροντα μαθητών και εκπαιδευτικών, ενηλίκων, οικογενειών, ερευνητών. Μέσω της χρήσης του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας οι δυνατότητες που δίνονται τόσο στον επισκέπτη όσο και στον σχεδιαστή του εκπαιδευτικού περιεχομένου πολλαπλασιάζονται.

Μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας ο κάθε επισκέπτης μπορεί να «βλέπει» διαφορετική επιπρόσθετη πληροφορία. Οι μαθητές μπορούν να βλέπουν εικόνες και γραφήματα που συνδέονται με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, οι ερευνητές μπορούν να βλέπουν πιο πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα ενώ οι απλοί επισκέπτες εκλαϊκευμένες εκδόσεις των εκπαιδευτικών σεναρίων ώστε να έχουν μία πρώτη γνωριμία με τους νόμους που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα. Είναι σημαντικό να επισημάνουμε πως ανάλογα με τα στοιχεία και τις προτιμήσεις που δηλώνει ο επισκέπτης το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να ενεργοποιεί ένα διαφορετικό σενάριο που ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τις επιλογές του. Η σημαντικότερη πάντως εκπαιδευτική καινοτομία της εφαρμογής είναι ότι ο εκπαιδευτικός μπορεί, μέσω του περιβάλλοντος προετοιμασίας των εκπαιδευτικών σεναρίων, να ετοιμάσει το περιεχόμενο και τις εφαρμογές (Εικόνες 5.5, 5.6, 5.7 και 5.8) που θα παρουσιάσει στους μαθητές του κατά τη διάρκεια της επίσκεψης. Η σύνδεση αυτή μεταξύ της τυπικής διδασκαλίας και του αναλυτικού προγράμματος με την άτυπη εκπαίδευση που λαμβάνει χώρα στο μουσείο ή το κέντρο επιστημών και η επίδραση που έχει τελικά στην εκπαίδευση των μαθητών και την κατανόηση των φυσικών φαινομένων αποτελούν τα βασικά σημεία της προσέγγισης μας. Η προτεινόμενη προσέγγιση γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα στα διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, εντάσσοντας στην εκπαιδευτική διαδικασία με συστηματικό τρόπο εργαλεία και εφαρμογές, όπως τα εκθέματα μίας διαδραστικής έκθεσης ή ενός μουσείου, τα οποία μέχρι σήμερα δεν αποτελούσαν ενεργό μέρος της.

Για τη συγκεκριμένη μελέτη σχεδιάστηκε μία εκπαιδευτική «διαδρομή» που καλύπτει θεματικές ενότητες του αναλυτικού προγράμματος τόσο της Β' όσο και της Γ' Λυκείου. Στις τάξεις αυτές παρουσιάζονται στους μαθητές οι έννοιες του κύματος, το μήκος κύματος, η συχνότητα, ενώ συζητούνται διεξοδικά τα χαρακτηριστικά των διαμήκων και των εγκάρσιων κυμάτων. Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά θέματα για την εκπομπή και απορρόφηση της Η/Μ ακτινοβολίας, το Η/Μ φάσμα και οι επιμέρους περιοχές του, η διάδοση των Η/Μ κυμάτων, η αλληλεπίδραση της Η/Μ ακτινοβολίας με την ύλη. Ο εκπαιδευτικός χρησιμοποιώντας τα τρία εκθέματα της διαδραστικής έκθεσης μπορεί να υλοποιήσει το μάθημα του στο χώρο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ενώ ταυτόχρονα θα έχει στη διάθεση του όλο το οπτικοακουστικό υλικό που έχει αποθηκεύσει στο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας.

Στην Εικόνα 5.1 αποτυπώνουμε τις μοναδικές δυνατότητες που δίνει στους εκπαιδευτικούς το συγκεκριμένο σύστημα. Όταν ο μαθητής στρέψει το βλέμμα του στην περιοχή του υπέρυθρου, πέραν των στατικών εικόνων που παρουσιάζει το έκθεμα στην οθόνη μπροστά του, ο μαθητής θα δει ένα βίντεο που παρουσιάζει μία γυναίκα που στεγνώνει τα μαλλιά της με έναν στεγνωτήρα μαλλιών και εξηγεί τι θα συμβεί όταν ανάψει ο στεγνωτήρας αυτός. Ο στεγνωτήρας τίθεται σε λειτουργία. Η εικόνα που λαμβάνει ο μαθητής είναι γυρισμένη αρχικά στην ορατή περιοχή του φάσματος ενώ στη συνέχεια η εικόνα παρουσιάζει τη λήψη στο υπέρυθρο. Γίνεται αμέσως προφανές ότι μία υπέρυθρη κάμερα είναι σε θέση να διακρίνει τις «ζεστές» από τις «ψυχρές» περιοχές.

Σε μία προσπάθεια να κατανοήσει ο μαθητής το φαινόμενο καλύτερα, επιπρόσθετες φωτογραφίες και βίντεο παρουσιάζονται στο οπτικό του πεδίο. Στο σημείο αυτό επιχειρείται και μία σύνδεση με το μάθημα της Αστρονομίας, με την παρουσίαση εικόνων Αστέρων και άλλων ουρανίων σωμάτων στο ορατό και το υπέρυθρο (Εικόνα 5.6). Επιπρόσθετα παρουσιάζονται στο οπτικό του πεδίο και τα τηλεσκοπία με τα οποία έχουν ληφθεί οι συγκεκριμένες φωτογραφίες. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα να παρουσιάσει στους μαθητές πλούσιο εκπαιδευτικό περιεχόμενο αλλά και ταυτόχρονα να το συνδυάσει με τρόπο αποτελεσματικό που προάγει τη μάθηση και εξάπτει το ενδιαφέρον των μαθητών.



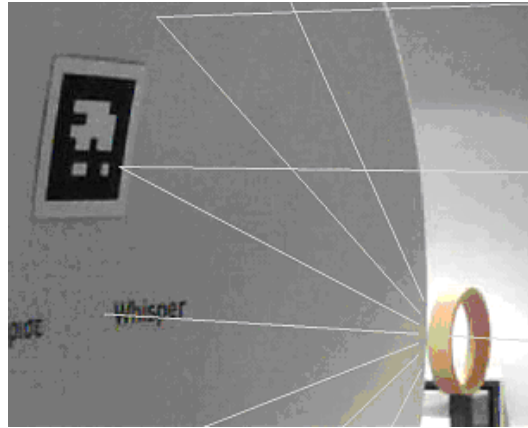
Εικόνα 5.7. Το έκθεμα του ακουστικού κατόπτρου με το σημείο εστίασης των ηχητικών κυμάτων. Η επιγραφή στο κέντρο του κατόπτρου καλεί τον επισκέπτη να ψιθυρίσει στον μικρό δακτύλιο που βρίσκεται στην εστία του παραβολικού κατόπτρου.

Μόλις ο μαθητής ολοκληρώσει την περιήγηση του στο Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα και έχοντας ενημερωθεί για τα εγκάρσια Η/Μ κύματα και τα χαρακτηριστικά τους, μπορεί να προχωρήσει στην περιήγηση του γειτονικού εκθέματος των ακουστικών κατόπτρων (Εικόνα 5.7) προχωρώντας ανάμεσα στα δύο κάτοπτρα που φιλοξενεί η διαδραστική έκθεση. Ο στόχος τώρα είναι ο μαθητής να δει τα χαρακτηριστικά των διαμηκών κυμάτων και να κατανοήσει τις διαφορές τους με τα εγκάρσια κύματα. Το συγκεκριμένο έκθεμα αποτελείται από 2 όμοια παραβολικά κάτοπτρα που βρίσκονται σε απόσταση 20 μέτρων μεταξύ τους. Στην τυπική λειτουργία του εκθέματος εάν κάποιος πλησιάσει στο σημείο εστίασης που βρίσκεται στο κέντρο του κατόπτρου και μιλήσει με πολύ σιγανή φωνή τότε ο ήχος μεταφέρεται σε έναν άλλο επισκέπτη που βρίσκεται στο αντίστοιχο σημείο του αντί-διαμετρικού κατόπτρου 20 μέτρα μακριά. Αυτό το φαινόμενο στηρίζεται στην αρχή λειτουργίας του παραβολικού κατόπτρου που έχει την δυνατότητα να συγκεντρώνει και να ανακλά τα κύματα εκείνα που έχουν μήκος κύματος μικρότερο των φυσικών του διαστάσεων, όπως συμβαίνει με τα ακουστικά κύματα. Συνεπώς καθίσταται δυνατή η επικοινωνία δύο ανθρώπων σε μεγάλη απόσταση ακόμα και όταν μιλούν με πολύ σιγανή φωνή.

Στο συγκεκριμένο έκθεμα το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας «οπτικοποιεί» το αόρατο ακουστικό κύμα. Μάλιστα η οπτικοποίηση αυτή πραγματοποιείται με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη.

- Με την αναπαράσταση του κύματος με γραμμές που είναι παράλληλες με τον άξονα διάδοσής του (Εικόνα 5.8) ώστε να αποδοθεί η επίδραση του παραβολικού κατόπτρου στη μετάδοση του ήχου.
- Με την αναπαράσταση των μορίων του αέρα με μικρές σφαίρες οι οποίες τίθενται σε ταλάντωση λόγω της αρχικής διατάραξης του μέσου. Η διαταραχή αυτή διαδίδεται από μόριο σε μόριο δημιουργώντας πυκνώματα και αραιώματα μέσω των οποίων θα φτάσει ο ήχος στο απέναντι κάτοπτρο.

- Με την αναπαράσταση του κύματος με διαδοχικά επίπεδα – μέτωπα – τα οποία συγκλίνουν και αποκλίνουν μεταδίδοντας την αρχική διαταραχή.



Εικόνα 5.8 Το παραβολικό ακουστικό κάτοπτρο και η απεικόνιση του πεδίου όπως φαίνεται μέσα από τα μάτια του χρήστη με τη βοήθεια του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας. Διακρίνεται το κάτοπτρο, ο δακτύλιος στον οποίο ψιθυρίζει ο επισκέπτης, ο ασπρόμαυρος σχηματισμός τον οποίο χρησιμοποιεί ως αναφορά το σύστημα για να καθορίζει με ακρίβεια τη θέση και τον προσανατολισμό της κεφαλής του χρήστη και οι «ορατές» πλέον γραμμές που προσομοιώνουν τη διεύθυνση της διαταραχής που προκαλεί ο ήχος που δημιουργεί ο επισκέπτης.

Η εκπαιδευτική διαδρομή ολοκληρώνεται με την αλληλεπίδραση με το έκθεμα Ηχητικά Κύματα. Με τις οπτικοποιήσεις στο έκθεμα αυτό επιδιώκουμε να αναπαραστήσουμε τη διάδοση μιας διαταραχής στο χώρο και να βοηθήσουμε τους μαθητές να κατανοήσουν πως το κύμα μεταφέρει ορμή και ενέργεια από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο. Κάθε κύμα παράγεται από μια πηγή. Στο έκθεμα, το ρόλο της πηγής παίζει η ελαστική επιφάνεια του τυμπάνου. Καθώς η πηγή ταλαντώνεται, θέτει σε ταλάντωση τα κοντινά της μόρια του αέρα. Τα μόρια αυτά θέτουν σε ταλάντωση τα κοντινά τους μόρια και μ' αυτόν τον τρόπο το κύμα διαδίδεται στο χώρο. Καθώς η ελαστική επιφάνεια του τυμπάνου ταλαντώνεται, στο εσωτερικό του κυλινδρικού δοχείου δημιουργείται μια σειρά από περιοχές του αέρα με αυξημένη πυκνότητα που λέγονται πυκνώματα και μια σειρά από περιοχές του αέρα με μειωμένη πυκνότητα που λέγονται αραιώματα.

Η αλληλουχία αυτή των πυκνωμάτων και αραιωμάτων βρίσκει διέξοδο στην κυκλική οπή και διαφεύγει από το δοχείο. Το ηχητικό αυτό κύμα ταξιδεύει στον αέρα μέχρι να φθάσει στα ελάσματα τα οποία θέτει σε ταλάντωση. Παρατηρούμε ότι η κίνηση του κύματος είναι σχεδόν ευθύγραμμη σε αντίθεση με τα κοινά ηχητικά κύματα που αναπτύσσονται σφαιρικά. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης του κυλινδρικού δοχείου που παίζει το ρόλο ενός κατευθυντήρα. Τελικά, η ενέργεια του χεριού του μαθητή μέσα από το μηχανικό κύμα που παρήγαγε η συσκευή, μεταφέρθηκε στα ελάσματα. Χτυπήματα της μεμβράνης με μεγάλη δύναμη μεταφέρουν μεγάλο ποσό ενέργειας με αποτέλεσμα να κινούν περισσότερα ελάσματα από όσα ένα ασθενές χτύπημα της μεμβράνης. Στα δυνατά χτυπήματα η κίνηση των ελασμάτων είναι μεγαλύτερη και ο ήχος που παράγεται ισχυρότερος.

Η διαδικασία της επίσκεψης αξιολογήθηκε συστηματικά ώστε να καταγραφεί η επίδραση της προτεινόμενης προσέγγισης στην εκπαιδευτική πρακτική αλλά και στην κατανόηση των φυσικών νόμων και φαινομένων από τους μαθητές. Ιδιαίτερο βάρος δόθηκε στην εκτίμηση του ενδιαφέροντος που έδειξαν οι μαθητές στο πλαίσιο της επίσκεψης αλλά και μετά από αυτή. Τα δεδομένα από τη διαδικασία αξιολόγησης παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.4.

5.4 Αξιολόγηση της Εκπαιδευτικής Προσέγγισης

Στόχος της αξιολόγησης ήταν η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης προσέγγισης σε σύγκριση με μία συνηθισμένη εκπαιδευτική επίσκεψη στη διαδραστική έκθεση του Ιδρύματος Ευγενίδου. Η διαδικασία αξιολόγησης στηρίχθηκε σε ερωτηματολόγια που σχεδιάστηκαν για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς, συνεντεύξεις, συζητήσεις σε ομάδες και παράλληλη βιντεοσκόπηση των δραστηριοτήτων. Η διαδικασία της βιντεοσκόπησης είναι πολύ σημαντική για την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων. Οι δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν τις περιόδους Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2009 και Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2010. Συμμετείχαν συνολικά 220 μαθητές και μαθήτριες από το Λύκειο των Εκπαιδευτηρίων «Ελληνογερμανική Αγωγή» και από το 2^ο Λύκειο Αργυρούπολης. 120 από αυτούς επισκέφτηκαν τα εκθέματα και αλληλεπίδρασαν μαζί τους μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (ομάδα εφαρμογής Α) ενώ οι υπόλοιποι 100 επισκέφτηκαν τα ίδια εκθέματα και αλληλεπίδρασαν μαζί τους χωρίς όμως να κάνουν χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας (ομάδα ελέγχου). Τον Ιανουάριο του 2011 η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη συμμετοχή 47 μαθητών από το Λύκειο Γλαύκης, που βρίσκεται στο ομώνυμο χωριό στην οροσειρά της Ροδόπης, περίπου 60χλμ Βόρεια της Ξάνθης. Οι μαθητές αυτοί επισκέφτηκαν το Ίδρυμα Ευγενίδου «εικονικά» μέσω της ευρυζωνικής δορυφορικής σύνδεσης που διαθέτει το σχολείο τους και αποτέλεσαν την ομάδα εφαρμογής Β.

Και οι τρεις ομάδες μαθητών ακολούθησαν την προτεινόμενη εκπαιδευτική διαδρομή. Οι εκπαιδευτικοί προσαρμόσαν το προτεινόμενο εκπαιδευτικό σενάριο ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των τμημάτων τους και με βάση την εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθούν στο μάθημά τους. Αφού αφιέρωσαν περίπου 3 διδακτικές ώρες στην παρουσίαση των συγκεκριμένων εννοιών όπως προβλέπει το αναλυτικό πρόγραμμα επισκέφτηκαν (πραγματικά και εικονικά) τη διαδραστική έκθεση του Ιδρύματος Ευγενίδου. Οι ομάδες εφαρμογής και ελέγχου επισκέφτηκαν σε διαφορετικές ημέρες την έκθεση.

Οι ομάδες ελέγχου και εφαρμογής επιλέγησαν ώστε να είναι «ισοδύναμες» πριν την έναρξη των δραστηριοτήτων. Για να γίνει αυτό πέρα από τις απόψεις των εκπαιδευτικών των σχολείων όπου εργάζονται με τα παιδιά, σχεδιάστηκε και μοιράστηκε στους μαθητές ένα γνωστικό ερωτηματολόγιο ώστε να διαγνωστεί η ισοδυναμία των ομάδων πριν την εφαρμογή της διαδικασίας. Ερωτηματολόγια επίσης μοιράστηκαν στους μαθητές και των τριών ομάδων μετά την ολοκλήρωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας, αφού δηλαδή ολοκληρώθηκε και η τρίτη φάση με τις δραστηριότητες εμπέδωσης που υλοποιήθηκαν στο σχολείο. Οι συνεντεύξεις και οι συζητήσεις με μαθητές και εκπαιδευτικούς πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο στο ίδρυμα Ευγενίδου μετά την ολοκλήρωση της επίσκεψης. Όλες οι δραστηριότητες για τους μαθητές από το Λύκειο Γλαύκης πραγματοποιήθηκαν στο σχολείο τους.

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας αξιολόγησης θα θέλαμε να επισημάνουμε μερικές από τις βασικότερες λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τα Η/Μ και τα ακουστικά κύματα (McDermott και Redish 1999)⁹¹. Οι μαθητές:

- πιστεύουν πως κάθε μορφή ακτινοβολίας είναι επικίνδυνη
- δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι το φως είναι Η/Μ ακτινοβολία
- δυσκολεύονται να διαχωρίσουν τα εγκάρσια και διαμήκη κύματα. Πολύ μεγάλο ποσοστό των μαθητών θεωρεί ότι τα ηχητικά κύματα είναι εγκάρσια.
- πιστεύουν ότι η ύλη μετακινείται μαζί με τα κύματα κατά τη διάδοσή τους σε ένα μέσο.
- πιστεύουν πως και ο ήχος μπορεί να ταξιδέψει στο διάστημα, χωρίς την ύπαρξη ενός μέσου μεταφοράς.

5.4.1 Αξιολογώντας την επίτευξη των εκπαιδευτικών στόχων της προτεινόμενης προσέγγισης

Στόχος της προσέγγισης μας ήταν να προσπαθήσουμε να σχεδιάσουμε το σενάριο και τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες που το αποτελούν με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίξει τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, καταπολεμώντας τις παραπάνω λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών. Για το λόγο αυτό τόσο το ερωτηματολόγιο που εφαρμόσαμε (**Παράρτημα Ι**) όσο και το πλάνο των ημι-δομημένων συνεντεύξεων σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να βοηθήσουν στον εντοπισμό διαφοροποιήσεων που οφείλονται σε εννοιολογική αλλαγή. Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 14 βασικές ερωτήσεις. Για κάθε ερωτηματολόγιο υπολογίζεται η επίδοση του κάθε μαθητή (αριθμός σωστών απαντήσεων) και στη συνέχεια η μέση τιμή των επιδόσεων όλων των μαθητών. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τη διαφοροποίηση στις μέσες τιμές των επιδόσεων των μαθητών των τριών ομάδων στην εφαρμογή του γνωστικού ερωτηματολογίου πριν και μετά την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση.

Πίνακας 5.1: Η διαφοροποίηση στις μέσες τιμές των επιδόσεων των μαθητών των τριών ομάδων στην εφαρμογή του γνωστικού ερωτηματολογίου πριν και μετά την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση.

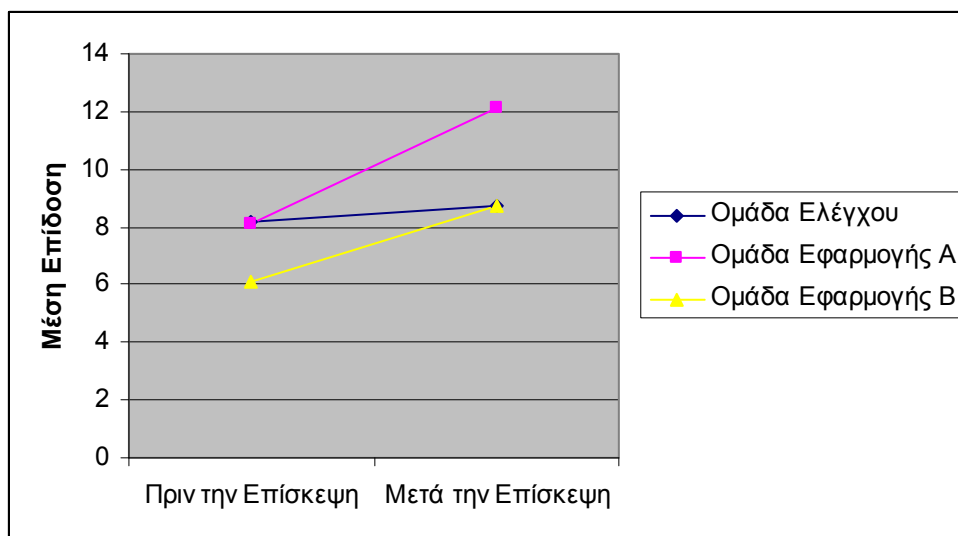
	Ομάδα Ελέγχου (N=100)	Ομάδα Εφαρμογής Α (N=120)	Ομάδα Εφαρμογής Β (N=47)
$D=M_{post}-M_{pre}$	0,50 ± 0,09	4,00 ± 0,31	2,57 ± 0,25

Η ανάλυση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν πιστοποιεί την εκπαιδευτική αξία της προτεινόμενης προσέγγισης. Τα κύρια συμπεράσματα από την εφαρμογή των ερωτηματολογίων είναι τα ακόλουθα:

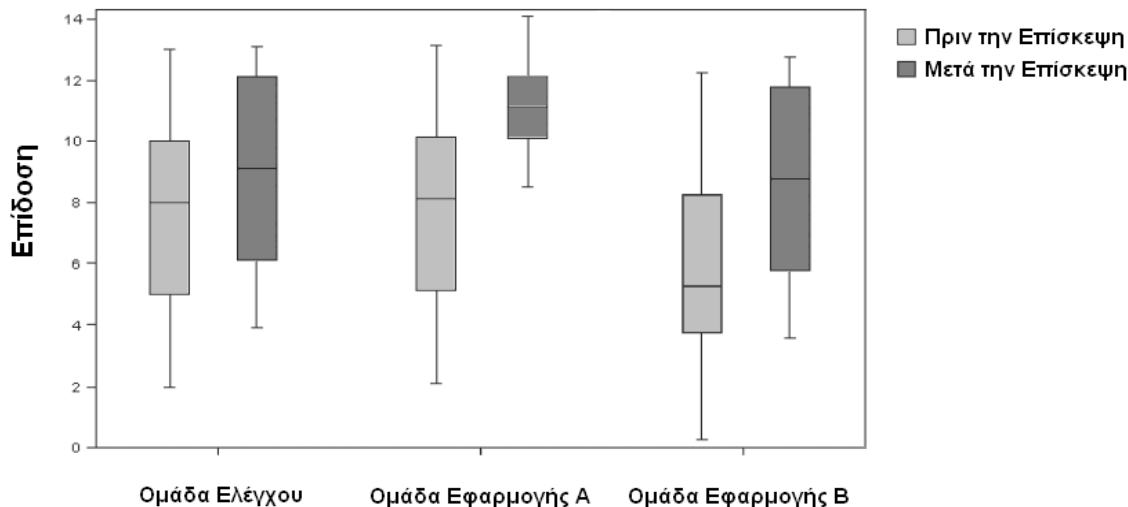
- Η ομάδα εφαρμογής Α επιτυγχάνει σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις από την ομάδα ελέγχου. Η μικρή διαφοροποίηση στις επιδόσεις της ομάδας ελέγχου, παρά το γεγονός ότι οι μαθητές αλληλεπιδρούν με εντυπωσιακά εκθέματα σε ένα χώρο που προκαλεί το ενδιαφέρον για την επιστήμη και την τεχνολογία, αποδεικνύει πως η παραδοσιακή «ξενάγηση» στην έκθεση του μουσείου δεν επιτυγχάνει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Οι μαθητές δεν είναι σε θέση να «συνδέσουν» αυτά τα οποία βλέπουν, ακούν ή κάνουν με τα ζητήματα που διαπραγματεύονται στο πλαίσιο του σχολικού μαθήματος. Αντίθετα οι μαθητές που έχουν τη δυνατότητα (μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας) να έχουν πρόσβαση στο περιεχόμενο που ο ίδιος ο εκπαιδευτικός έχει προετοιμάσει βελτιώνουν τις επιδόσεις τους, χτίζοντας στην υπάρχουσα γνώση και κατανοώντας, μέσω της επίδειξης των πειραμάτων και των εκθεμάτων της έκθεσης, έννοιες που είχαν παρουσιαστεί με θεωρητικό τρόπο.
- Η ομάδα εφαρμογής Β επιτυγχάνει υψηλότερες επιδόσεις από την ομάδα ελέγχου. Τα δεδομένα από την διδακτική παρέμβαση αποδεικνύουν ότι χάρη στην χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας σε συνδυασμό με την ευρυζωνική σύνδεση, οι μαθητές των απομακρυσμένων σχολείων βελτιώνουν τις επιδόσεις τους σε σημαντικό βαθμό σε σχέση με τους μαθητές που είχαν την ευκαιρία να βρεθούν στο χώρο της έκθεσης και να αλληλεπιδράσουν απευθείας με τα εκθέματα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι εξίσου σημαντικά με αυτά της ομάδας εφαρμογής Α καθώς αναφέρονται σε μαθητές που έχουν γενικά πολύ χαμηλές επιδόσεις στις Φυσικές Επιστήμες και στα Μαθηματικά αλλά και γενικότερα χαμηλό ενδιαφέρον για τα θέματα της Επιστήμης και της Τεχνολογίας. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η βελτίωση στην μέση τιμή της επίδοσης της ομάδας αυτής οφείλεται στη σημαντική βελτίωση των μαθητών που είχαν πολύ χαμηλές επιδόσεις πριν την εφαρμογή.

Στην Εικόνα 5.9 παρουσιάζεται η συνολική διαφοροποίηση των ομάδων εφαρμογής και ελέγχου πριν και μετά την επίσκεψη. Η σημαντική αύξηση του ποσοστού των σωστών απαντήσεων από την ομάδα εφαρμογής αναδεικνύει το γεγονός ότι η παρουσίαση του εκπαιδευτικού περιεχομένου στις κατάλληλες συνθήκες και προσαρμοσμένο στο περιβάλλον της επίσκεψης επιτρέπει στους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα «δύσκολες» έννοιες και πολύπλοκα φαινόμενα. Η οπτικοποίηση των φυσικών μεγεθών και φαινομένων συμβάλλει σημαντικά στην κατανόησή τους και βοηθά στην καταπολέμηση των λανθασμένων αντιλήψεων που δημιουργούνται στους μαθητές όταν δημιουργούν τα δικά τους νοητικά μοντέλα για να τα περιγράψουν. Οι «συνδέσεις» με όσα έχουν διδαχθεί στο σχολείο και η ενσωμάτωση της επίσκεψης στην εκπαιδευτική διαδικασία φαίνεται να δρουν καταλυτικά στην καλύτερη κατανόηση των εννοιών.

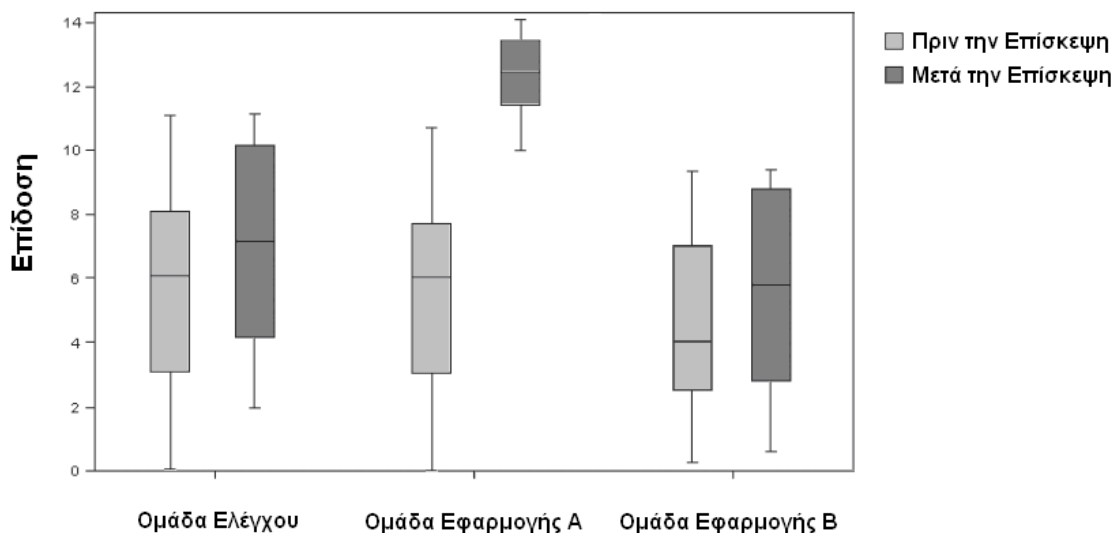
Στις εικόνες 5.10 και 5.11 παρουσιάζονται αποτελέσματα από μεμονωμένες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου που εφαρμόστηκε στους μαθητές των τριών ομάδων. Στα διαγράμματα φαίνεται η μέση τιμή, ενώ τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα υποδεικνύουν την περιοχή όπου συγκεντρώνεται το 80% των απαντήσεων. Μέγιστες και ελάχιστες επιδόσεις σημειώνονται επίσης στο κάθε γράφημα. Στην εικόνα 5.10 παρουσιάζεται η σχετική διαφοροποίηση ανάμεσα στις σωστές απαντήσεις των τριών ομάδων για τον διαχωρισμό ανάμεσα σε εγκάρσια και διαμήκη κύματα. Στην αναπαράσταση αυτή επισημαίνουμε τη σημαντική «συμπύκνωση» των επιδόσεων γύρω από την μέση τιμή 11,5 των μαθητών της ομάδας εφαρμογής Α με εξαιρετικά μεγάλη μείωση των λανθασμένων απαντήσεων. Σε μικρότερο βαθμό αυτό επιτυγχάνεται και στην ομάδα εφαρμογής Β. Η αλλαγή στις μέγιστες τιμές (μαθητές που απαντούν σωστά σε όλες σχεδόν τις ερωτήσεις) είναι πολύ μικρή σε όλες τις περιπτώσεις.



Εικόνα 5.9 Οι ομάδες εφαρμογής Α (κόκκινη γραμμή) και ελέγχου (μπλε γραμμή) παρουσιάστηκαν «ισοδύναμες» πριν την εφαρμογή απαντώντας σωστά σε 8 (κατά μέσον όρο) ερωτήσεις του σχετικού ερωτηματολογίου. Η εκπαιδευτική επίσκεψη δεν διαφοροποίησε σημαντικά το ποσοστό αυτό για την ομάδα ελέγχου. Η ομάδα εφαρμογής Α αλληλεπιδρώντας με τα εκθέματα μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας κατάφερε να απαντήσει σωστά 12 (κατά μέσον όρο) από τις 14 ερωτήσεις μετά την εφαρμογή. Επίσης εντυπωσιακή είναι η αύξηση των σωστών απαντήσεων της ομάδας εφαρμογής Β (κίτρινη γραμμή). Η ομάδα αυτή είχε χαμηλότερες επιδόσεις πριν την εφαρμογή αλλά μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης βελτιώνει την επίδοσή της σημαντικά.



Εικόνα 5.10 Η επιμέρους ανάλυση μεμονωμένων ερωτήσεων του ερωτηματολογίου επιβεβαιώνει την γενική εικόνα που αναφέραμε παραπάνω και αναδεικνύει την εκπαιδευτική αξία της εφαρμογής για την καταπολέμηση των λανθασμένων αντιλήψεων των μαθητών των ομάδων εφαρμογής. Στην εικόνα παρουσιάζεται η σχετική διαφοροποίηση ανάμεσα στις απαντήσεις των τριών ομάδων για τον διαχωρισμό ανάμεσα σε εγκάρσια και διαμήκη κύματα. Στην αναπαράσταση αυτή επισημαίνουμε τη σημαντική «συμπύκνωση» των επιδόσεων γύρω από την μέση τιμή 11,5 των μαθητών της ομάδας εφαρμογής Α με εξαιρετικά μεγάλη μείωση των λανθασμένων απαντήσεων. Σε μικρότερο βαθμό αυτό επιτυγχάνεται και στην ομάδα εφαρμογής Β. Η αλλαγή στις μέγιστες τιμές (μαθητές που απαντούν σωστά σε όλες σχεδόν τις ερωτήσεις) είναι πολύ μικρή σε όλες τις περιπτώσεις.



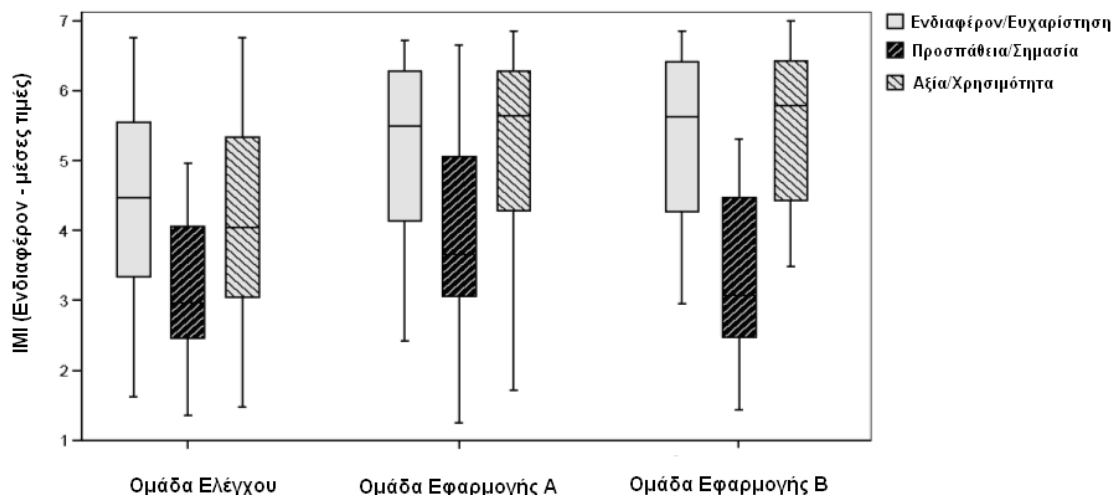
Εικόνα 5.11 Στην εικόνα παρουσιάζεται η σχετική διαφοροποίηση ανάμεσα στις απαντήσεις των τριών ομάδων σχετικά με τις υπο-περιοχές του Η/Μ φάσματος. Σχεδόν όλοι οι μαθητές της ομάδας εφαρμογής Α, μετά την επίδειξη φαίνεται πως έχουν κατανοήσει πως το φως είναι Η/Μ ακτινοβολία. Σημειώνουμε επίσης την σημαντικότερη μείωση της διασποράς των απαντήσεων μετά την εφαρμογή για την ομάδα ελέγχου Α. Θα πρέπει να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη ερώτηση θεωρείται αρκετά σημαντικής δυσκολίας για τους μαθητές. Η ομάδα εφαρμογής Β, παρά το γεγονός ότι βελτιώνει την επίδοσή της (από 4 στις 6 σωστές απαντήσεις) δεν φαίνεται να ανταποκρίνεται σε αυτήν την ερώτηση όπως στις υπόλοιπες του ερωτηματολογίου.

5.4.2 Αξιολογώντας την επίδραση της προτεινόμενης προσέγγισης στην διαφοροποίηση των στάσεων των μαθητών απέναντι στην Επιστήμη και την Τεχνολογία.

Η επίδραση της προτεινόμενης προσέγγισης στο ενδιαφέρον των μαθητών εκτιμήθηκε με την εφαρμογή του Intrinsic Motivation Inventory (IMI) (Desy and Ryan, 1985)⁹². Το ερωτηματολόγιο (Παράρτημα II) αυτό στοχεύει αποκλειστικά στην εκπαιδευτική δραστηριότητα και για τον λόγο αυτό εφαρμόστηκε αμέσως μετά την πραγματοποίηση των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων στην διαδραστική έκθεση (είτε για την πραγματική είτε για την εικονική επίσκεψη). Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 21 ερωτήσεις εκ των οποίων 7 αναφέρονται στο ενδιαφέρον και την ευχαρίστηση που προκαλεί η υπο μελέτη δραστηριότητα, 7 αναφέρονται στην προσπάθεια που πρέπει να καταβάλει κανείς για να εμπλακεί στην υπό μελέτη δραστηριότητα και τέλος 7 αναφέρονται στην αξία και στη χρησιμότητα που έχει για τον μαθητή το να εμπλακεί επιτυχώς στην υπό μελέτη δραστηριότητα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης τόσο των ποσοτικών δεδομένων, όσο και των ποιοτικών (συζητήσεις, συμμετοχή) έδειξαν ότι το ενδιαφέρον των μαθητών που συμμετείχαν στις ομάδες εφαρμογής ήταν πολύ μεγαλύτερο, έκαναν πολύ περισσότερες ερωτήσεις τόσο κατά τη διάρκεια των επισκέψεων αλλά και στις συζητήσεις που ακολούθησαν στο σχολείο στα πλαίσια του μαθήματος εμπέδωσης. Επίσης θα πρέπει να επισημανθεί πως οι αναφορές που συνέταξαν μετά την επίσκεψη ήταν πολύ πιο πλήρεις και αναλυτικές σε σχέση με αυτές της ομάδας ελέγχου.

Στην Εικόνα 5.12 φαίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν στο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η προτεινόμενη προσέγγιση, στην προσπάθεια που απαιτείται για την υλοποίηση της δραστηριότητας και στην αξία που έχει κατά τη γνώμη του μαθητή η επίσκεψη στο έκθεμα. Παρατηρούμε ότι τόσο το ενδιαφέρον, όσο και η αξία που αποδίδουν στην επίσκεψη με τη χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας είναι σημαντικά μεγαλύτερη στην ομάδα εφαρμογής Α από ότι στην ομάδα ελέγχου. Επιπρόσθετα τα δεδομένα δείχνουν ότι οι μαθητές δεν χρειάζεται να καταβάλουν μεγαλύτερη προσπάθεια, κάτι που αποδεικνύει τη φιλικότητα και την ευχρηστία του συστήματος και ολόκληρης της προσέγγισης.



Εικόνα 5.12 Στην εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν στο ενδιαφέρον που παρουσιάζει το έκθεμα για τους μαθητές, στην προσπάθεια που απαιτείται για την υλοποίηση της δραστηριότητας και στην αξία που έχει κατά τη γνώμη τους η επίσκεψη στο έκθεμα και γενικότερα στο κέντρο επιστημών. Παρατηρούμε ότι τόσο το ενδιαφέρον, όσο και η αξία που αποδίδουν στην επίσκεψη με τη χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας είναι σημαντικά μεγαλύτερη στις ομάδες εφαρμογής από ότι στην ομάδα ελέγχου. Επιπρόσθετα τα δεδομένα δείχνουν ότι οι μαθητές δεν χρειάζεται να καταβάλουν μεγαλύτερη προσπάθεια, κάτι που αποδεικνύει τη φιλικότητα και την ευχρηστία του συστήματος και ολόκληρης της προσέγγισης.

Επισημαίνουμε πως οι μαθητές της ομάδας εφαρμογής Β εκτιμούν πως η απαιτούμενη προσπάθεια είναι ακόμη μικρότερη καθώς δεν έρχονται σε απευθείας αλληλεπίδραση με το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας αλλά λαμβάνουν τη σύνθεση των εικόνων (πραγματική και επαυξημένη) και επομένως η δραστηριότητα δεν διαφέρει (ως προς το επίπεδο της προσπάθειας) από τη συνηθισμένη χρήση του υπολογιστή.

Τα δεδομένα αυτά δείχνουν πως παρά το γεγονός ότι η απλή επίσκεψη ειδικά στα κέντρα επιστημών είναι αποδεδειγμένο πως αυξάνει το ενδιαφέρον των μαθητών, η σύνδεση της με το αναλυτικό πρόγραμμα μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας την καθιστά ακόμα περισσότερο ενδιαφέρουσα και αποτελεσματική. Η σύνθεση των χαρακτηριστικών των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων (τυπική και άτυπη) σε μία ενιαία και ολοκληρωμένη προσέγγιση αποδεικνύεται ότι μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τους μαθητές, να κάνει το έργο του εκπαιδευτικού πιο εύκολο και να μετατρέψει την εκπαιδευτική διαδικασία σε μία ευχάριστη και εποικοδομητική δραστηριότητα.

5.5 Συμπεράσματα

Απώτερος στόχος της προτεινόμενης προσέγγισης είναι ο επαναπροσδιορισμός της εκπαιδευτικής διαδικασίας μέσω του σχεδιασμού μαθησιακών περιβαλλόντων και της πραγματοποίησης πιλοτικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν υψηλού επιπέδου ψηφιακή τεχνολογία. Τέτοια περιβάλλοντα αντλούν την παιδαγωγική τους αξία από το συνδυασμό της εκπαιδευτικής πράξης με την ψυχαγωγία. Στο πλαίσιο της εφαρμογής του σεναρίου διασυνδέσαμε πολυμεσικές συσκευές προκειμένου να δημιουργήσουμε ρεαλιστικές προσομοιώσεις και να τις ενσωματώσουμε σε εικονικά περιβάλλοντα όπου ο μαθητής μπορεί να έχει πρόσβαση σε επιπρόσθετη πληροφορία σχετική με το έκθεμα που επισκέπτεται. Η μεταφορά δυναμικής πληροφορίας με αυτό τον τρόπο, θα ενισχύει την αίσθηση της διερεύνησης και της «περιπέτειας» κατά τη μάθηση των πλέον πολύπλοκων εννοιών και νόμων.

Τα κύρια συμπεράσματα από την αξιολόγηση της εφαρμογής συνοψίζονται στα ακόλουθα. Με τη χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας:

- οι μαθητές «συνδέουν» την επίσκεψη τους στο κέντρο διάδοσης της επιστήμης με όσα έχουν μάθει στο σχολείο, βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοσή τους σε γνωστικό επίπεδο συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση φυσικών φαινομένων που είναι αόρατα και παρουσιάζονται συνήθως θεωρητικά.
- υποστηρίζεται αποτελεσματικά η ένταξη ανακαλυπτικών προσεγγίσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία μεταφέροντας το επίκεντρο του ενδιαφέροντος στον μαθητή, εμπλέκοντας τον ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, αυξάνοντας τελικά τον ενδιαφέρον του για το μάθημα και τα υπό μελέτη θέματα.
- επεκτείνονται τα όρια της σχολικής τάξης και του σχολικού εργαστηρίου καθιστώντας τους χώρους άτυπης μάθησης μέρος της υποδομής που έχει στη διάθεση του ο εκπαιδευτικός για να εξηγήσει στους μαθητές πολύπλοκα φαινόμενα. Χάρη στην «σύνδεση» αυτή, τα διαδραστικά εκθέματα και τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα, βοηθούν στην ανάπτυξη μίας καλύτερης αντίληψης των νόμων που διέπουν τον κόσμο που μας περιβάλλει.
- διαφοροποιείται ο παραδοσιακός (και μη αποτελεσματικός) τρόπος πραγματοποίησης των εκπαιδευτικών επισκέψεων σε κέντρα διάδοσης της επιστήμης και μουσείων Φυσικών Επιστημών μετατρέποντας τον σε μία ευχάριστη περιπέτεια που προκαλεί το ενδιαφέρον το μαθητών δημιουργώντας τις απαραίτητες συνθήκες για αποτελεσματική μάθηση.

- δίνεται η δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να εμπλουτίζει την επίσκεψη στο μουσείο με μία σειρά από δραστηριότητες (και πλούσιο επιπρόσθετο εκπαιδευτικό υλικό) που αποτελούν τη βάση για την ένταξη της επιστημονικής μεθοδολογίας στην εκπαιδευτική πράξη και την ανάπτυξη σχετικών δεξιοτήτων στους μαθητές (παρουσίαση τεκμηριωμένων απόψεων, οργάνωση σκέψης, ανάπτυξη κριτικής σκέψης, δυνατότητα συνεργασίας, παρουσίαση αποτελεσμάτων στο κοινό).

6 Αναπτύσσοντας προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις για τη διδασκαλία της Κβαντομηχανικής. Αξιοποίηση των Νοητικών Πειραμάτων

6.1 Εισαγωγή

Επί σχεδόν μία εκατονταετία όλα τα πειράματα επιβεβαιώνουν τις θεωρητικές προβλέψεις που επιτυγχάνει η μαθηματική πλευρά της Κβαντομηχανικής, αλλά η ίδια η θεωρία «πάσχει» από ένα σημαντικό μειονέκτημα. Οι φυσικές διεργασίες που περιγράφονται τόσο επιτυχώς από τα μαθηματικά δεν είναι καθόλου προφανείς! Συγκεκριμένα, η Κβαντική Μηχανική διαφέρει σημαντικά από την υπόλοιπη Φυσική στο ότι δεν μπορεί να προβλέψει τη θέση ενός σωματιδίου στο μέλλον, αλλά μόνο την πιθανότητα το σωματίδιο αυτό να βρίσκεται στη θέση αυτή. Η διαφορά αυτή μπορεί να φαίνεται, σε πρώτη σκέψη, σαν μικρή λεπτομέρεια χωρίς σημασία, έχει όμως βαθύτατες συνέπειες στον τρόπο με τον οποίο καταλαβαίνουμε ότι «λειτουργεί» ο κόσμος γύρω μας. Καταργεί την αίσθηση που έχουμε από την καθημερινή ζωή ότι οι ίδιες αιτίες έχουν πάντοτε τα ίδια αποτελέσματα. Ας φανταστούμε, για παράδειγμα, ένα πείραμα στο οποίο εκτοξεύουμε ένα ηλεκτρόνιο με την ίδια πάντα ταχύτητα και προς την ίδια πάντα κατεύθυνση. Έστω ότι, θεωρητικά, βρίσκουμε πως το ηλεκτρόνιο έχει πιθανότητα 30% να περάσει από έναν ανιχνευτή. Πώς ελέγχουμε αυτό το αποτέλεσμα; Κάνουμε το πείραμα 100 φορές και, αν διαπιστώσουμε ότι στις 30 το ηλεκτρόνιο πέρασε από αυτόν τον ανιχνευτή, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η θεωρία δουλεύει σωστά. Πώς γίνεται, όμως, ηλεκτρόνια με τις ίδιες αρχικές συνθήκες να ακολουθούν διαφορετικές «διαδρομές»;

Στα μέσα της δεκαετίας του 1920 ο μεγάλος Δανός φυσικός Νιλς Μπορ και οι συνεργάτες του κατέληξαν σε μια ερμηνεία του παραπάνω φαινομένου, που έκτοτε έμεινε γνωστή ως ερμηνεία της σχολής της Κοπεγχάγης. Σύμφωνα με την ερμηνεία αυτή, το κάθε ηλεκτρόνιο δεν ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδρομή, αλλά βρίσκεται «κάπου» μεταξύ της διάταξης εκτόξευσης και του ανιχνευτή. Αποκτάει μια συγκεκριμένη θέση μόνο τη στιγμή που ανιχνεύουμε την παρουσία του! Με άλλα λόγια εμείς, με τις μετρήσεις μας, διαμορφώνουμε την εξέλιξη των φυσικών φαινομένων. Το συμπέρασμα αυτό φαίνεται εντελώς παράλογο, κυρίως άμα δοκιμάσουμε να εφαρμόσουμε την ερμηνεία της Κοπεγχάγης σε αντικείμενα πολύ μεγαλύτερα από στοιχειώδη σωματίδια.

Πιο γνωστό σχετικό παράδειγμα είναι το περίφημο παράδοξο της γάτας, που διατύπωσε ο θεμελιωτής της Κβαντικής Μηχανικής Ερβιν Σρέντινγκερ για να δείξει τις αδυναμίες της ερμηνείας της Κοπεγχάγης. Η γάτα βρίσκεται σε ένα κουτί που περιέχει ένα φιαλίδιο με υδροκυάνιο και μια ραδιενεργό ουσία. Αν μια ραδιενεργός ακτίνα «χτυπήσει» το πώμα του φιαλιδίου, το υδροκυάνιο σκορπίζεται στο κουτί και σκοτώνει τη γάτα. Το παράδοξο προκύπτει από το γεγονός ότι, σύμφωνα με τον Μπορ, η γάτα «καταλήγει» να είναι ζωντανή ή πεθαμένη μόνο όταν ανοίξουμε το κουτί! Αυτό δεν σημαίνει ότι είναι είτε ζωντανή είτε πεθαμένη, αλλά ότι εμείς δεν γνωρίζουμε τι από τα δύο συμβαίνει μόνο και μόνο επειδή το κουτί είναι κλειστό. Σημαίνει ότι, προτού ανοίξουμε το κουτί, η γάτα είναι «μεταξύ φθοράς και αφθαρσίας», δηλαδή 50% ζωντανή και 50% πεθαμένη, ενώ η παρατήρησή μας, τη στιγμή που ανοίγουμε το κουτί, την οδηγεί στη ζωή ή στον θάνατο! Με άλλα λόγια, σύμφωνα με την Κβαντομηχανική, δεν υπάρχει καν αντικειμενική πραγματικότητα, την οποία παρατηρούμε για να κατανοήσουμε τη φύση, αλλά εμείς, με την παρατήρησή μας, δημιουργούμε την πραγματικότητα. Προφανώς αυτό το συμπέρασμα είναι εντελώς παράλογο. Ωστόσο, παρ' όλο που από τη διατύπωση της ερμηνείας της Κοπεγχάγης έχουν περάσει περίπου 80 χρόνια, δεν έχει βρεθεί καμιά καλύτερη φυσική ερμηνεία των μαθηματικών εξισώσεων της Κβαντομηχανικής, παρ' όλες τις έως σήμερα προσπάθειες διακεκριμένων φυσικών.

Ένας από τους φυσικούς που δεν ένωθε «άνετα» με την ερμηνεία της Κοπεγχάγης ήταν ο μεγάλος Αϊνστάιν. Παρ' ότι ο ίδιος είχε βραβευτεί με το Νομπέλ Φυσικής για την πρώτη επιτυχημένη εφαρμογή της Κβαντομηχανικής, την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου,

πίστευε πως η Κβαντική Μηχανική ήταν μια ατελής θεωρία. Στα συνέδρια εξέφραζε συχνά τη γνώμη του αυτή επιγραμματικά λέγοντας: «Δεν είναι δυνατόν ο Θεός να ρίχνει ζάρια» ή «ο Θεός είναι πολυμήχανος αλλά όχι κακεντρεχής», γεγονός που ανάγκασε μια φορά τον Μπορ να του απαντήσει: «Αίνσταιν, σταμάτα να λες στον Θεό τι να κάνει». Σε μια συζήτηση που είχε ένα βράδυ με τον μεγάλο μαθηματικό φυσικό Πάσκουαλ Τζόρνταν, ο Αίνσταιν διερωτήθηκε φωναχτά, κοιτάζοντας τη φωτεινή πανσέληνο: «Άραγε το φεγγάρι είναι στη θέση του όταν δεν το κοιτάζει κανείς;». Και αυτό το «παράδοξο» προκύπτει από την προσπάθεια να εφαρμόσουμε την ερμηνεία της Κοπεγχάγης σε αντικείμενα σημαντικά μεγαλύτερα από ένα ηλεκτρόνιο ή πρωτόνιο.

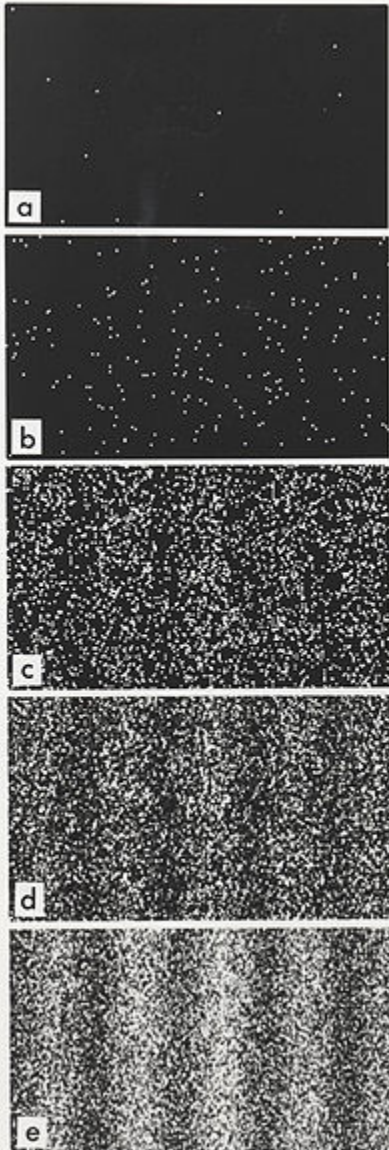
Επειδή η «ατομική» συμπεριφορά είναι εντελώς διαφορετική απ'αυτή της καθημερινής εμπειρίας, είναι και ιδιαίτερα δύσκολο να εξοικειωθεί κανείς μαζί της. Αυτό δεν ισχύει μόνο για τους μαθητές αλλά και στους εκπαιδευτικούς όσο και στους πεπειραμένους ερευνητές της Φυσικής. Είναι γεγονός πως ακόμη και οι ειδικοί δεν την έχουν κατανοήσει στο βαθμό που θα ήθελαν, κάτι που είναι απολύτως λογικό, εφόσον η ανθρώπινη εμπειρία αλλά και η ανθρώπινη διαίσθηση, σχετίζονται με αντικείμενα μεγαλύτερου μεγέθους. Ξέρουμε πολύ καλά πως συμπεριφέρονται τα μεγάλα αντικείμενα, αλλά τα πράγματα σε μικρή κλίμακα δεν ακολουθούν την ίδια συμπεριφορά. Θα χρειαστεί να παρουσιάσουμε τα φαινόμενα αυτά με έναν πιο επινοητικό τρόπο και όχι σχετίζοντας τα με την άμεση εμπειρία μας.

Στην παρούσα εργασία κρίναμε σκόπιμο, στην προσπάθεια μας να αναδείξουμε το δυναμικό τόσο της ανακαλυπτικής προσέγγισης αλλά και των σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων, να καταπιαστούμε με την «μυστηριώδη» συμπεριφορά των ατομικών σωματιδίων. Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε στους μαθητές της Γ' Λυκείου (17-18 ετών) ένα φαινόμενο το οποίο είναι αδύνατον να έχει κάποια κλασική εξήγηση, και στο οποίο εμπεριέχεται η βαθύτερη ουσία της κβαντομηχανικής. Δεν θα μπορέσουμε να «εξηγήσουμε» στους μαθητές το πως ακριβώς «λειτουργεί». Θα τους παρουσιάσουμε πώς «λειτουργεί» και με αυτόν τον τρόπο θα τους έχουμε μιλήσει για τις βασικές ιδιορρυθμίες που εμφανίζονται στην κβαντική μηχανική. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι όλο το «μυστήριο» της κβαντικής μηχανικής περικλείεται στο πείραμα της διπλής σχισμής και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο τοποθετείται στην αφετηρία οποιασδήποτε συζήτησης σχετικά με τη φύση της κβαντικής θεωρίας. Το πείραμα πραγματοποιείται για ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια περνώντας από τις δυο σχισμές σχηματίζουν στον ανιχνευτή (πέτασμα) που βρίσκεται πίσω τους εναλλασσόμενες λωρίδες της συμβολής σαν να ήταν δηλαδή κύματα και όχι σωματίδια που περνούν από τις σχισμές. Το εν λόγω πείραμα ψηφίστηκε από τους αναγνώστες του περιοδικού Physics World το 2002 ως το ομορφότερο πείραμα στην ιστορία, ενώ η απόδειξη της δισυπόστατης φύσης του κβαντικού κόσμου παραμένει ένα από τα μεγαλύτερα μυστήρια του φυσικού κόσμου που όμως, έχουμε αποδεχτεί και εφαρμόσει στις επιστήμες. Πριν παρουσιάσουμε το πως πραγματοποιήθηκε η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση θα θέλαμε να αναφερθούμε στην αξία που έχουν τα Νοητικά Πειράματα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών αλλά και στις δυσκολίες που παρουσιάζει η διδασκαλία της κβαντικής μηχανικής.

6.2 Τα Νοητικά Πειράματα στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Τα νοητικά πειράματα (ΝΠ) είναι πειράματα που σχεδιάζονται από τους επιστήμονες και «πραγματοποιούνται στο εργαστήριο του μυαλού» (Brown 1991)⁹³ ή με άλλα λόγια σχεδιάζονται νοητικά «χωρίς να χρειάζεται να εκτελεστούν στην πραγματικότητα» (Sorensen 1992)⁹⁴. Για το ρόλο των ΝΠ στην εξέλιξη των Φυσικών Επιστημών έχουν αναφερθεί πολλοί φιλόσοφοι της επιστήμης. Μεταξύ αυτών ο Κuhn (1977)⁹⁵ αναφέρει ότι τα ΝΠ έχουν παίξει αποφασιστικό ρόλο στην ανάπτυξη των επιστημών και, σε κάποιες περιπτώσεις, αποδείχτηκαν δυναμικά εργαλεία του ανθρώπου στην προσπάθειά του να κατανοήσει τη φύση. Τα ΝΠ χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για να ασκήσουν κριτική σε υπάρχουσες θεωρίες, να διατυπώσουν καινοτόμες θεωρίες ή να διασαφηνίσουν υπάρχουσες θεωρίες (Popper, 1999)⁹⁶. Οι επιστήμονες, όταν σχεδιάζουν ένα ΝΠ, χρησιμοποιούν τη φαντασία τους για να συνθέσουν νοητικά ένα σκηνικό, το οποίο, αν και παραπέμπει πολλές φορές σε οικείες καταστάσεις, απαιτεί συμβάσεις που ξεπερνούν την εμπειρία. Στα περισσότερα ΝΠ η επίδραση κάποιου ή κάποιων παραγόντων στην εξέλιξη της κατάστασης ενός φυσικού συστήματος μπορεί να απαλείφεται. Για παράδειγμα, ο Mach (1976)⁹⁷ αναφέρει ότι το ΝΠ και η συνεχής αφαίρεση οδήγησαν το Γαλιλαίο στο νόμο της

αδράνειας. Αυτή η αφαίρεση απαιτείται, προκειμένου να προσεγγιστεί μαθηματικά η φύση και αυτή η προσέγγιση είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται μόνο στο μυαλό. Τα ΝΠ γεφυρώνουν, συνεπώς, το χάσμα μεταξύ των εμπειρικών δεδομένων και των θεωρητικών εννοιών. Αυτή η λειτουργία των ΝΠ, κατά τον Kouge (1966)⁹⁸, είναι βασική στην επιστημονική σκέψη και αναδεικνύει την σύνθετη φύση της επιστημονικής γνώσης.



Εικόνα 6.1. Η «συμβολή» των ηλεκτρονίων στην οθόνη πίσω από το πέτασμα των δύο σχισμών.

τους μαθητές να εκφράσουν τις ιδέες τους για τις έννοιες που πρόκειται να διδαχθούν. Αυτή η μέθοδος, κατά τον Mach (1976), είναι η καλύτερη για να κατανοήσει ο εκπαιδευτικός τις ιδέες και τον τρόπο σκέψης των μαθητών του. Κάποιοι μαθητές θα προβλέψουν τα πιο προφανή πράγματα αλλά, πιθανόν, και κάποιοι να προβλέψουν ασυνήθιστα και παράξενα αποτελέσματα. Είναι, συνεπώς, προφανές ότι τα ΝΠ είναι σημαντικά εργαλεία για τη διαδικασία της ανάδειξης των ιδεών.

Αντίστοιχα και στην εκπαίδευση τα ΝΠ θεωρούνται από τους εκπαιδευτικούς αναπικατάστατα εργαλεία προκειμένου να διδάξουν νόμους που περιλαμβάνουν σχέσεις με σημαντική αφαίρεση. Αυτοί αισθάνονται ότι τα ΝΠ γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των νέων εννοιών που πρέπει να διδαχθούν οι μαθητές, με την καθημερινή τους εμπειρία και την προϋπάρχουσα γνώση (Helm et al. 1985)⁹⁹. Τα ΝΠ, συνεπώς, μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμα εργαλεία και στη διδασκαλία της κβαντομηχανικής, τις έννοιες της οποίας, όπως δείχνουν οι έρευνες (Fischler & Lichtfeldt 1992¹⁰⁰, Johnston et al. 1998¹⁰¹), οι μαθητές, όχι μόνο της δευτεροβάθμιας αλλά και της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, δυσκολεύονται να προσεγγίσουν.

Τα ΝΠ, αν και περιλαμβάνουν στοιχεία από το φυσικό κόσμο, συνήθως, υποθέτουν καταστάσεις που δεν υπάρχουν στην καθημερινή ζωή (δάπεδα χωρίς τριβές, υπερβολική θερμοκρασία κ.α.). Επίσης απαιτούν από το πειραματιστή να φανταστεί και να προβλέψει οριακές καταστάσεις και να καταλήξει σε αποτελέσματα με βάση κάποιες υποθέσεις. Συνεπώς, η χρήση των ΝΠ στη σχολική τάξη ωθεί τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν τη φαντασία τους, να σκεφτούν αφαιρετικά, να αναπτύξουν την κριτική τους ικανότητα, να κάνουν υποθέσεις και να βγάλουν συμπεράσματα με λογική παραγωγή (Mach 1976, Matthews 1994¹⁰²). Οι παραπάνω διαδικασίες είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες στην εργασία τους και συνεπώς η χρήση των ΝΠ, ιδιαίτερα των ιστορικών ΝΠ, στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών μπορεί να συνεισφέρει στην εξοικείωση των μαθητών με την μεθοδολογία αλλά και την ιστορία της επιστήμης. Τα ΝΠ στη σχολική τάξη, σε αντίθεση με αυτά των επιστημόνων, εξελίσσονται ως αποτέλεσμα συνεργασίας των μαθητών στην επίλυση προβλήματος, όπου κάθε μαθητής που συμμετέχει συνεισφέρει τη δική του διαφορετική άποψη (Gilbert and Reiner 2000¹⁰³, Reiner 1998¹⁰⁴).

Μεγάλη αξία στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών έχει η διαδικασία κατά την οποία «οι μαθητές καλούνται να προβλέψουν νοητικά το αποτέλεσμα ενός πειράματος» (Matthews 1994), είτε αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί στο σχολικό εργαστήριο είτε όχι. Η διαδικασία αυτή ενθαρρύνει

Αν κάποια πειράματα μπορούν να πραγματοποιηθούν στο εργαστήριο και τα αποτελέσματά τους είναι διαφορετικά από αυτά που πρόβλεψαν οι μαθητές κατά την νοητική εκτέλεσή τους, τότε θα αναπτυχθεί μια δυσφορία των μαθητών για τις απόψεις τους, γεγονός που θα συνεισφέρει σημαντικά στην εννοιολογική αλλαγή (Helm et al. 1985).

Για τους προαναφερθέντες λόγους, θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί κατά πόσο τα ΝΠ που αναφέρονται σε θεωρίες της φυσικής του 20ου αιώνα, θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως εργαλείο για τη διδασκαλία αυτών των θεωριών σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή φιλοδοξούμε να αναπτύξουμε μία προσέγγιση για την αποτελεσματική παρουσίαση του πειράματος των δύο σχισμών στους μαθητές του Λυκείου. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι όλο το «μυστήριο» της κβαντικής μηχανικής περικλείεται στο πείραμα των δύο σχισμών και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο τοποθετείται στην αφετηρία οποιασδήποτε συζήτησης σχετικά με τη φύση της κβαντικής θεωρίας. Στη βάση του φαινομένου βρίσκεται η «αρχή της συμπληρωματικότητας του Bohr»: τα σωματίδια (φωτόνια, ηλεκτρόνια κ.λ.π.) κατά την κίνησή τους (διέλευση από τις δύο οπές και εντοπισμός τους σε ανάλογο πέτασμα) αναχωρούν και φθάνουν (ανιχνεύονται) ως σωματίδια, αλλά ταξιδεύουν ως κύμα. Η έννοια-κλειδί είναι η «κατάρρευση της κυματοσυνάρτησης»: η πράξη της παρατήρησης (διαδικασία μέτρησης) είναι αυτή που κάνει ένα κύμα να «καταρρέει» και να γίνεται σωματίδιο. Σ' όλα τα σχετικά πειράματα από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα επαληθεύεται αυτή η εικόνα (Εικόνα 6.1).

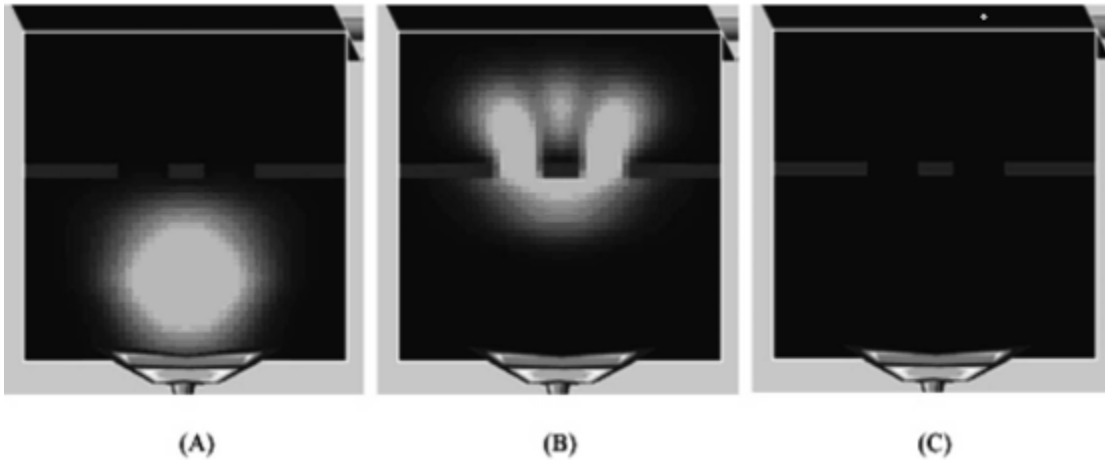
6.3 Οι δυσκολίες στη διδασκαλία της Κβαντικής Μηχανικής

Διάφορες έρευνες, σχετικές με τη διδασκαλία της κβαντομηχανικής, (Kocakulah and Kural 2010¹⁰⁵, Fischler & Lichtfeldt 1992, Johnston et al 1998) έχουν δείξει ότι οι μαθητές της δευτεροβάθμιας (αλλά ακόμα και της τριτοβάθμιας) εκπαίδευσης βρίσκουν τις αντίστοιχες έννοιες δύσκολες και πολύ αφηρημένες. Η δυσκολία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές στην κλασική μηχανική έχουν μάθει να δημιουργούν αναπαραστάσεις και να σχηματίζουν εικόνες προκειμένου να αντιλαμβάνονται τις διάφορες ιδέες, ενώ η Κβαντική Μηχανική απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο αφάιρησης (Johnston et al 1998). Στη διδασκαλία της Κλασικής Φυσικής έννοιες όπως η θέση και η ορμή ενός σωματιδίου θεωρούνται απόλυτα γνωστές, προσδιορισμένες και ανεξάρτητες της πειραματικής παρατήρησης. Επιπλέον στην κλασική προσέγγιση είναι δεδομένο πως οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε ένα σύστημα δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε ένα άλλο σύστημα που είναι ανεξάρτητο και απομονωμένο από το πρώτο. Είναι ξεκάθαρο πως αυτές οι θεωρήσεις είναι δεδομένες για τη μελέτη του μακρόκοσμου και η διδασκαλία της Κλασικής Φυσικής μπορεί να βασιστεί σε αυτές και να συνδεθεί αποτελεσματικά με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών αυξάνοντας ταυτόχρονα το ενδιαφέρον τους και κάνοντας το μάθημα πιο βιωματικό και ελκυστικό, όπως είδαμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας. Όμως κάθε προσπάθεια παρουσίασης θεμάτων που αφορούν στις διεργασίες και στους νόμους που κυριαρχούν στον μικρόκοσμο αντιμετωπίζει πολύ σημαντικές δυσκολίες καθώς οι μαθητές βρίσκονται απέναντι σε προσεγγίσεις που βασίζονται στις πιθανότητες και στην αρχή της απροσδιοριστίας, που απέχουν εξαιρετικά από κάθε προσπάθεια κλασικής αντιμετώπισης.

Το ζήτημα της αξιολόγησης της επίδρασης των διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων των θεμάτων της κβαντικής μηχανικής στους μαθητές έχει γίνει αντικείμενο πρόσφατων μελετών και δημοσιεύσεων (Baily and Finkelstein, 2009¹⁰⁶, E. Cataloglu and R. Robinett, 2002¹⁰⁷, Singh, 2001¹⁰⁸, Singh, 2008¹⁰⁹, Falk, 2005¹¹⁰, McKagan and Wieman, 2006¹¹¹, Goldhaber et al., 2009¹¹², Wuttiptom et al., 2009¹¹³). Η μέθοδος Quantum Physics Conceptual Survey (QPCS) (Wuttiptom et al., 2009) κρίνεται αυτή τη στιγμή η πιο έγγυρη ειδικά για την αξιολόγηση των επιδόσεων αλλά και της βαθύτερης κατανόησης των βασικών αρχών της κβαντικής μηχανικής από μαθητές και φοιτητές που παρακολουθούν εισαγωγικά μαθήματα στην κβαντική μηχανική. Οι δημιουργοί της συγκεκριμένης μεθόδου αξιολόγησης (και των σχετικών εργαλείων) έχουν διαπιστώσει ότι οι μαθητές έχουν τις μεγαλύτερες δυσκολίες στο να απαντήσουν έξι (6) ερωτήσεις τις οποίες χαρακτηρίζουν ως ερμηνευτικές (interpretive). Οι δύο ερωτήσεις στις οποίες οι μαθητές παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά επιτυχίας, τους ζητούν να απαντήσουν εάν το φως (ή το ηλεκτρόνιο) συμπεριφέρεται σαν κύμα ή σωματίδιο όταν κινείται από μία πηγή προς έναν

ανιχνευτή. Οι συγγραφείς αναφέρουν πως μόνο το 20% των μαθητών απαντάει σωστά σε κάθε μία από τις ερωτήσεις αυτές. Όπως αναφέρουν οι συγγραφείς αυτό το αποτέλεσμα προκύπτει και στην μελέτη του Mazur (1997)¹¹⁴ που συγκρίνει τις επιδόσεις των μαθητών σε συμβατικά προβλήματα Φυσικής και σε αυτά που απαιτούν βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση.

Στην πρόσφατη δημοσίευση τους οι Baily & Finkelstein (2010)¹¹⁵ συζητούν την επίδραση των εκπαιδευτικών προσεγγίσεων στην κατανόηση και στην επιθυμούμενη εννοιολογική αλλαγή και επικεντρώνουν τη μελέτη τους στο πείραμα της διπλής σχισμής.



Εικόνα 6.2. Διαδοχικές εικόνες από την προσομοίωση της κίνησης του ηλεκτρονίου από την πηγή στο πέτασμα, μέσω του τοιχώματος της διπλής σχισμής, όπως παρουσιάζεται στην δημοσίευση των Baily & Finkelstein (2010).

Στην μελέτη τους παρουσιάζουν στους μαθητές την προσομοίωση PheT που παρουσιάζεται στην εικόνα 6.2. Στην προσομοίωση αυτή ένα ηλεκτρόνιο (με τη μορφή ενός σφαιρικού νέφους που αντιπροσωπεύει την πυκνότητα πιθανότητας) εκπέμπεται από μία πηγή ηλεκτρονίων (A), περνάει μέσα και από τις δύο σχισμές (B) και τελικά ένα μικρό σημάδι (πολύ μικρότερο του αρχικού νέφους) αποτυπώνεται στο πέτασμα (C). Στην προσομοίωση που εξελίσσεται μετά την εκπομπή μεγάλου αριθμού ηλεκτρονίων παρουσιάζεται στο πέτασμα το φάσμα της συμβολής. Οι συγγραφείς κατατάσσουν τους μαθητές σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το πως αποδίδουν την παραπάνω προσομοίωση:

Μαθητής A (Ρεαλιστική άποψη): Η κατανομή της πυκνότητας πιθανότητας (σφαιρική κατανομή) είναι τόσο μεγάλη διότι δεν γνωρίζουμε τη ακριβή θέση του ηλεκτρονίου. Επειδή μόνο ένα μικρό σημάδι παρουσιάζεται στο πέτασμα το ηλεκτρόνιο πρέπει να είναι ένα μικρό σωματίδιο που ταξιδεύει εντός της σφαιρικής κατανομής, και περνάει από μία από τις δύο σχισμές στην πορεία του προς το πέτασμα.

Μαθητής B (Κβαντική άποψη): Η σφαιρική κατανομή παρουσιάζει το ίδιο το ηλεκτρόνιο, το οποίο περιγράφεται από ένα κυματοπακέτο. Το ηλεκτρόνιο «λειτουργεί» ως κύμα, περνάει και από τις δύο σχισμές και συμβάλλει με τον εαυτό του. Για το λόγο αυτό η εικόνα της συμβολής θα παρουσιαστεί στο πέτασμα μόνο μετά την εκπομπή μεγάλου αριθμού ηλεκτρονίων.

Μαθητής Γ (Αγνωστικιστική άποψη): Η Κβαντική Μηχανική προβλέπει μόνο τα αποτελέσματα των μετρήσεων και για το λόγο αυτό δεν μπορούμε να ξέρουμε πως συμπεριφέρεται το ηλεκτρόνιο ανάμεσα στην πηγή και στο πέτασμα.

Στη μελέτη αυτή οι συγγραφείς εφάρμοσαν τη μέθοδο Quantum Physics Conceptual Survey (QPCS) στο πλαίσιο της παρουσίασης του πειράματος της διπλής σχισμής. Διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις εφαρμόστηκαν και οι συγγραφείς κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

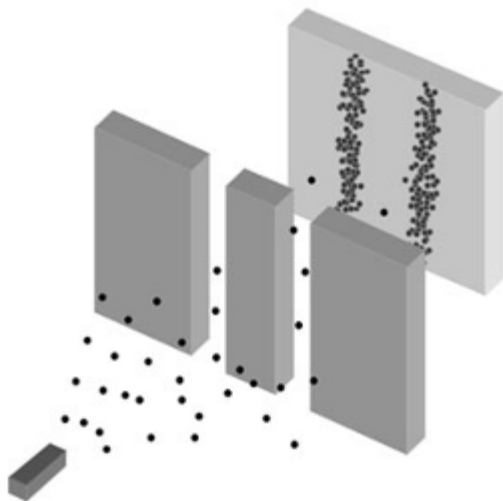
1) οι εκπαιδευτικοί ακολουθώντας προσεγγίσεις που αποδίδουν με συγκεκριμένο τρόπο τις διαδικασίες της κβαντικής μηχανικής μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τις διαδικασίες αυτές

2) οι μαθητές τείνουν να χρησιμοποιούν κλασικές προσεγγίσεις για την περιγραφή των κβαντικών φαινομένων όταν οι εκπαιδευτικοί δεν παρουσιάζουν αναλυτικά και συγκεκριμένα τις κβαντικές προσεγγίσεις.

Συνεπώς, κατά τους παραπάνω ερευνητές, για να σκέφτονται οι μαθητές αποτελεσματικά πάνω σε θέματα της κβαντομηχανικής, πρέπει να προχωρήσουν πιο πέρα από τα νοητικά μοντέλα που βασίζονται στην εμπειρία των αισθήσεων, δηλαδή προς μοντέλα που εμπεριέχουν θεωρητικές και αφηρημένες καταστάσεις. Εδώ, ίσως αναδεικνύεται και η μεγάλη χρησιμότητα των ΝΠ που, όπως προαναφέρθηκε (Koyre 1968, Helm et al. 1985), βοηθούν στο γεφύρωμα του χάσματος μεταξύ των εμπειρικών δεδομένων και των θεωρητικών εννοιών. Έτσι, στην παρούσα εργασία γίνεται απόπειρα να παρουσιαστεί το πείραμα της διπλής σχισμής σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με αξιοποίηση ΝΠ αλλά και σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών (οπτικοποιήσεων και προσομοιώσεων). Φιλοδοξούμε πως η προτεινόμενη προσέγγιση θα βοηθήσει στην πιο ενεργή συμμετοχή των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία, αλλά και ταυτόχρονα θα βελτιώσει το μαθησιακό αποτέλεσμα και την κατανόηση των υπό μελέτη εννοιών.

6.4 Το πείραμα της Διπλής Σχισμής στη σχολική τάξη

Στην προσπάθεια μας να κατανοήσουν οι μαθητές την κβαντική συμπεριφορά των ηλεκτρονίων χρησιμοποιούμε μια πειραματική διάταξη που μας βοηθάει να συγκρίνουμε και να αντιπαραβάλουμε τη συμπεριφορά τους με την οικεία σε αυτούς συμπεριφορά μεγαλύτερων διαστάσεων σωματιδίων (σφαίρες), καθώς και με τη συμπεριφορά κυμάτων όπως τα υδάτινα. Η πειραματική αυτή διάταξη, χάρη στην τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να προσαρμόζεται στις συνθήκες του κάθε πειράματος (με σφαίρες, με υδάτινα κύματα και με ηλεκτρόνια).



Εικόνα 6.3. Η αρχή λειτουργίας του εικονικού πειράματος. Το «πραγματικό» μέρος του πειράματος περιλαμβάνει την πηγή των σωματιδίων και των κυμάτων, το τοίχωμα με τις δύο σχισμές (οι μαθητές μπορούν να επιλέγουν ανάμεσα σε τοιχώματα με μία ή δύο σχισμές, αλλά και σε τοιχώματα στα οποία η απόσταση μεταξύ των σχισμών διαφοροποιούνται) και το πέτασμα. Το «εικονικό» μέρος της διάταξης προσομοιώνει την κίνηση των σωματιδίων και την ανάπτυξη των κυμάτων που εκπέμπονται από την πηγή.

6.4.1 Το εκπαιδευτικό σενάριο

Το εκπαιδευτικό σενάριο προετοιμάστηκε και στην περίπτωση αυτή με βάση το ανακαλυπτικό μοντέλο (παράγραφος 5.2). Το περιβάλλον σχεδιασμού εκπαιδευτικών σεναρίων χρησιμοποιείται και εδώ υποστηρίζοντας τον κάθε εκπαιδευτικό στην υλοποίηση της διαδικασίας. Το υλικό που χρησιμοποιείται για το προτεινόμενο σενάριο μπορεί να τροποποιηθεί, να βελτιωθεί και να εμπλουτιστεί ώστε να προσαρμοστεί στις ανάγκες του κάθε εκπαιδευτικού. Όπως θα δούμε στη συνέχεια η διαδικτυακή εφαρμογή προσφέρει τη δυνατότητα σε κάθε εκπαιδευτικό να σχολιάσει και να αξιολογήσει την εφαρμογή του προτεινόμενου σεναρίου. Έτσι το κάθε σενάριο αποτελεί την αρχή ενός επικοινωνιακού διαλόγου μεταξύ των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας που δίνει την ευκαιρία για ανταλλαγή απόψεων προτάσεων και καλών πρακτικών.

Το πείραμα της διπλής σχισμής - Ο κυματοσωματιδιακός дуΐσμός

View Track

Original Title:

Το πείραμα της διπλής σχισμής - Ο κυματοσωματιδιακός дуΐσμός

Classification

Scientific investigations - generally, Prediction compared to results, Elementary particles, Wavelength, Diffraction, Diffraction, Properties of light - generally

Short Description:

Οι μαθητές θα κάνουν το πείραμα της διπλής σχισμής προκειμένου να μάθουν για την έννοια του κυματοσωματιδιακού дуΐσμού, μια από τις θεμελιώδεις αρχές της κβαντομηχανικής. Η διεξαγωγή του πειράματος βασίζεται σε προηγμένες τεχνικές οπτικοποίησης. -- Students perform the double slit experiment.

Educational objectives show

Educational Material

Metadata File

Report Inappropriate



Your rating: 5 Average: 5 (5 votes)



Social Tags: συμβολή, κύμα, (see all)

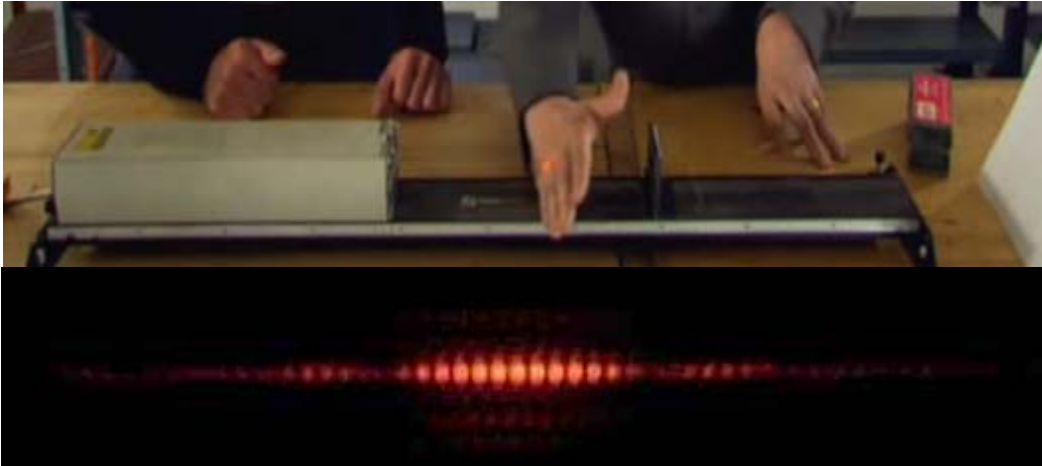
Social Taggers: 10 people

Add your tags

Εικόνα 6.4. Το περιβάλλον προετοιμασίας των εκπαιδευτικών σεναρίων καθοδηγεί τον εκπαιδευτικό βήμα-βήμα στην προετοιμασία του εκπαιδευτικού σεναρίου. Όπως και στην περίπτωση της διδασκαλίας των θεμάτων της Μηχανικής και Η/Μ και Ηχητικών Κυμάτων που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια έτσι και εδώ η εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθείται βασίζεται στο ανακαλυπτικό μοντέλο, το οποίο προσαρμόζεται στις ανάγκες μιας διευρυμένης εκπαιδευτικής δραστηριότητας.

Η ανάπτυξη του σεναρίου περιλαμβάνει 3 κύριες φάσεις. Στην πρώτη φάση οι μαθητές παρακολουθούν την επίδειξη του ιστορικού πειράματος του Thomas Young (με τη χρήση ενός Laser και ενός βερνιέρου). Το πείραμα της διπλής σχισμής διεξήχθη για πρώτη φορά στις αρχές του 19ου αιώνα από τον Άγγλο ερευνητή Thomas Young σε μια προσπάθεια να ανακαλύψει αν το φως είναι τελικά κύμα ή σωματίδιο. Για να κάνει τη μελέτη του ο Young χρησιμοποίησε μια ακτίνα φωτός η οποία αφού διέρχονταν από ένα φράγμα με μια σχισμή στη συνέχεια περνούσε από ένα φράγμα με δυο σχισμές και τέλος κατέληγε σε ένα πέτασμα. Παρατηρώντας το φως που έφτανε στο πέτασμα διαπίστωσε πως όταν οι σχισμές του δεύτερου φράγματος ήταν μεγάλες, σε μεγάλη μεταξύ τους απόσταση και κοντά στο πέτασμα εμφανίζονταν δυο ξεκάθαρες φωτεινές γραμμές. Αντίθετα, όταν η απόσταση των σχισμών ήταν μικρότερη και το εύρος τους μικρότερο, το φως σχημάτιζε στο πέτασμα φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς. Το σχήμα με τους εναλλασσόμενους φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς ονομάζεται και εικόνα συμβολής. Τέτοιου είδους εικόνες μπορούν να παραχθούν μόνο αν το φως συμπεριφέρεται σαν κύμα. Το 1905, ο Albert Einstein απέδειξε ότι το φως αποτελείται από ένα σύνολο διακριτών σωματιδίων τα οποία ονόμασε «φωτόνια». Κατά την αναπαράσταση της εκτέλεσης του πειράματος της διπλής σχισμής (εικόνα 6.5) εξηγούμε στους μαθητές ότι τα φωτόνια περνάνε ένα-ένα από το τοίχωμα με δύο σχισμές και φτάνουν στο πέτασμα παράγοντας την εικόνα της συμβολής.

Κατά την επίδειξη του πειράματος μπορούμε χρησιμοποιώντας απλούς τρόπους να εντοπίσουμε τον γενικότερο προβληματισμό γύρω από την περίεργη συμπεριφορά των φωτονίων όταν διέρχονται από το τοίχωμα με τις σχισμές. Δημιουργώντας για παράδειγμα ένα «νέφος» σκόνης κιμωλίας τινάζοντας τον σπόγγο του πίνακα πάνω από τη δέσμη μπορούμε να δείξουμε στους μαθητές την «τροχιά» των φωτονίων πριν φτάσουν στο τοίχωμα. Εάν επαναλάβουμε τη διαδικασία στο χώρο ανάμεσα στο τοίχωμα και το πέτασμα παρατηρούμε πως η δέσμη έχει εξαφανιστεί παρά το γεγονός ότι η εικόνα συμβολής μένει σταθερή στο πέτασμα.



Εικόνα 6.5. Η εφαρμογή της δραστηριότητας ξεκινάει με ένα πραγματικό πείραμα. Χρησιμοποιώντας ένα laser επαναλαμβάνουμε το κλασικό πείραμα της διπλής σχισμής. Στην κάτω εικόνα φαίνεται η εικόνα συμβολής που εμφανίζεται στο πέτασμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε στους μαθητές τη συμβολή των υδάτινων κυμάτων. Εκτός της πειραματικής επίδειξης παρουσιάζουμε στους μαθητές μία φυσική συμβολή θαλάσσιων κυμάτων στη παραλία Βοΐδοκοιλιά στην Νοτιοδυτική πλευρά της Πελοποννήσου.



Εικόνα 6.6. Η παραλία «Βοΐδοκοιλιά» στη Μεσσηνία ήταν το λιμάνι της αρχαίας Πύλου. Αποτελεί όμως και εξαιρετική επίδειξη της συμβολής των κυμάτων του Ιονίου Πελάγους στις βραχώδεις ακτές που λειτουργούν ως σχισμές και δευτερεύουσες πηγές δημιουργώντας τον δαντελωτό σχηματισμό της συμβολής στην αμμουδιά της παραλίας.

Εδώ ολοκληρώνεται η πρώτη φάση της εφαρμογής και εισερχόμαστε στην παρουσίαση του εικονικού (νοητικού) πειράματος. Ακολουθώντας την αριστουργηματική ανάλυση του Feynman για το πείραμα της διπλής σχισμής (Feynman, 1977) θα προσπαθήσουμε να εισάγουμε τους μαθητές στην καρδιά του κβαντικού μυστηρίου, παρουσιάζοντας την παράδοξη φύση της

πραγματικότητας που αναδεικνύει. Παρουσιάζουμε στους μαθητές τα ακόλουθα πειράματα (παρουσιάζοντας τους ταυτόχρονα την πειραματική διάταξη):

α) Στο πρώτο πείραμα μεγάλου μεγέθους σφαίρες ταξιδεύουν από την πηγή μέχρι ένα πρίσμα συλλογής (πέτασμα) διαμέσου ενός τοιχώματος με δυο σχισμές ή μια δίπλα στην άλλη.

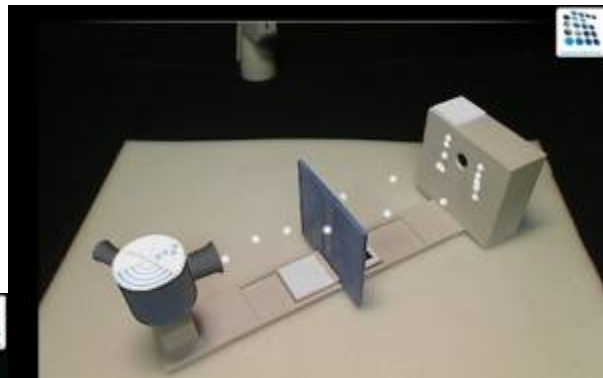
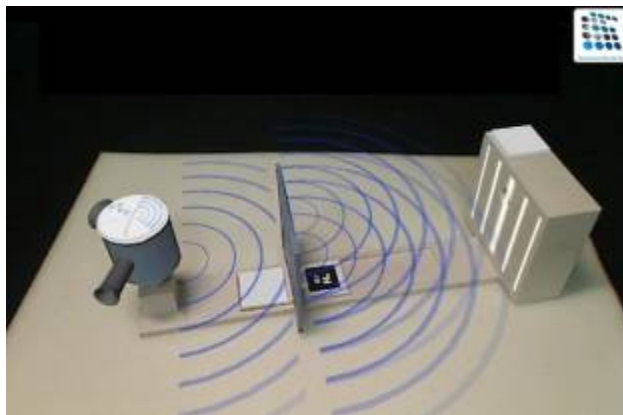
β) Στο δεύτερο πείραμα υποτίθεται ότι η πειραματική διάταξη βυθίζεται στο νερό μέχρι τη μέση, και μια πηγή (ακίδα) δημιουργεί υδάτινα κύματα που ταξιδεύουν μέχρι το πέτασμα διαμέσου ενός φράγματος με διπλή σχισμή.

γ) Στο τρίτο πείραμα, ηλεκτρόνια (μικρές σφαίρες) ταξιδεύουν από την πηγή μέχρι μια οθόνη ανίχνευσης διαμέσου ενός φράγματος με διπλή σχισμή.

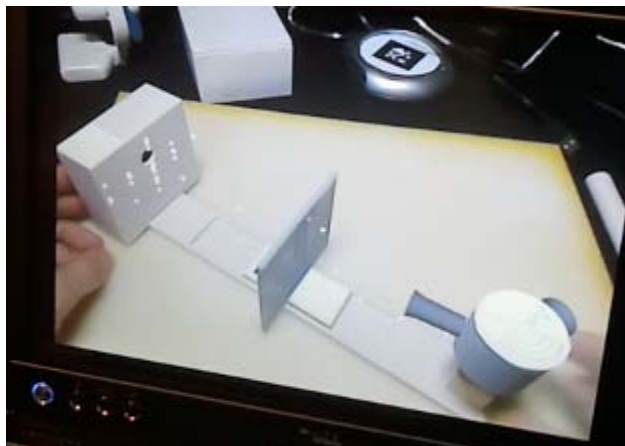
Τώρα με βάση όσα οι μαθητές γνωρίζουν και έχουν παρακολουθήσει έως τώρα θα πρέπει να προσπαθήσουν να σχεδιάσουν για την κάθε περίπτωση την εικόνα που περιμένουν να δουν στο πέτασμα αφού σφαίρες, κύματα και ηλεκτρόνια περάσουν από τις σχισμές. Ο εκπαιδευτικός ζητά από τους μαθητές να παρουσιάσουν τις ιδέες τους και να κάνουν κάποιες αρχικές υποθέσεις σχετικά με την φύση των ηλεκτρονίων: συμπεριφέρονται σαν τα υδάτινα κύματα ή σαν μεγάλου μεγέθους σφαίρες;

Έχουμε φτάσει στο σημείο που θα πρέπει να παρουσιάσουμε στους μαθητές την ιδέα πως στην κβαντική μηχανική η διαδρομή ενός σωματιδίου στο χώρο δεν είναι εν γένει καλώς ορισμένη. Μπορούμε να φανταστούμε λόγω χάρη, πως ένα ηλεκτρόνιο που κινείται ελεύθερα δεν ταξιδεύει απλώς σε μία ευθεία γραμμή ανάμεσα σε δύο σημεία A και B, όπως υποδεικνύει η κοινή λογική, αλλά ότι ακολουθεί διάφορες ακανόνιστες διαδρομές. Καλούμε τους μαθητές να φανταστούν πως με κάποιον τρόπο το ηλεκτρόνιο εξερευνά όλες τις πιθανές διαδρομές και πως, όταν δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε ποια διαδρομή ακολούθησε, πρέπει να θεωρήσουμε ότι όλες οι εναλλακτικές διαδρομές συνεισφέρουν με τον άλφα ή βήτα τρόπο στην πραγματική εικόνα. Έτσι όταν ένα ηλεκτρόνιο φτάνει σε κάποιο σημείο του χώρου – για παράδειγμα στο πέτασμα- πρέπει να γίνει συνδυασμός πολλών διαφορετικών «ιστοριών» για να δημιουργηθεί αυτό το ένα και μόνο γεγονός.

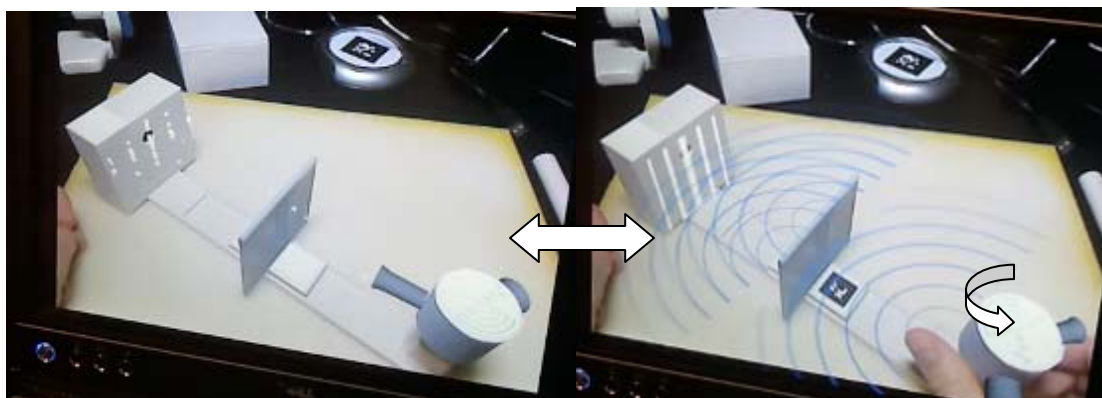
Εικόνα 6.7. Η περίπτωση του πειράματος της διπλής σχισμής με μεγάλου μεγέθους σφαιρίδια.



Εικόνα 6.8. Η περίπτωση του πειράματος της διπλής σχισμής για υδάτινα κύματα.



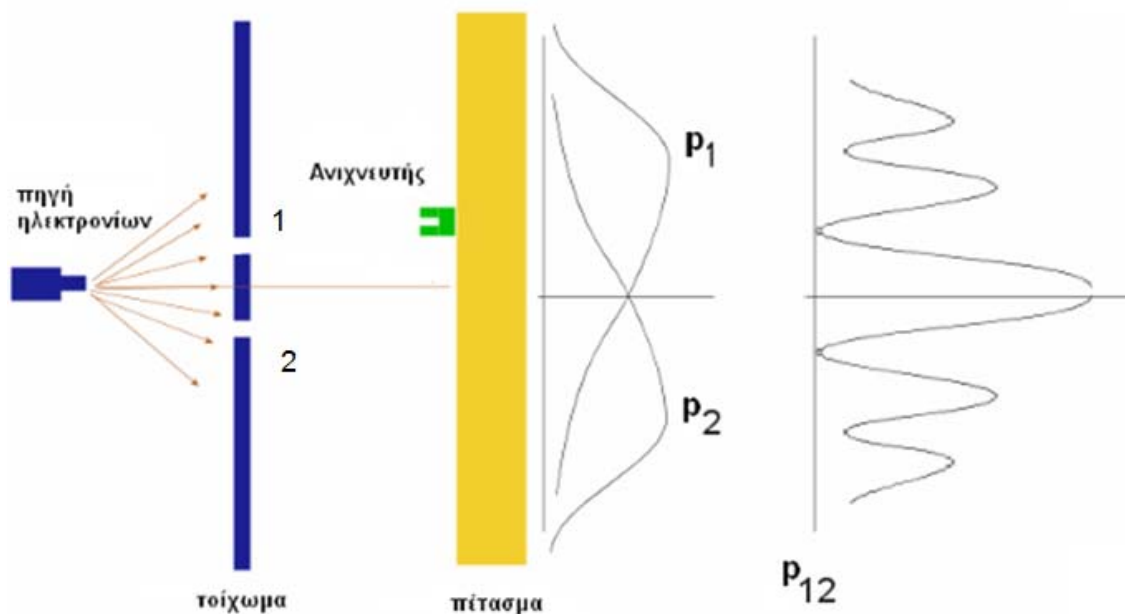
Εικόνα 6.9. Η περίπτωση του πειράματος της διπλής σχισμής για ηλεκτρόνια. Το φάσμα συμβολής χτίζεται σιγά-σιγά στο πέτασμα.



Εικόνα 6.10. Καθώς το πείραμα βρίσκεται σε εξέλιξη οι μαθητές μπορούν να «ελέγχουν» τις αντίστοιχες εικόνες στο πέτασμα από τα πειράματα με τις σφαίρες ή τα κύματα ώστε να κάνουν τις απαραίτητες συγκρίσεις.

Η εκτέλεση του πειράματος αποδεικνύει ότι τα ηλεκτρόνια παρουσιάζουν συμπεριφορά αντίστοιχη με αυτή των υδάτινων κυμάτων. Οι μαθητές γνωρίζουν ότι τα ηλεκτρόνια φτάνουν στο πέτασμα κατά ακέραια ποσά και επομένως μπορούν εύκολα να αποδεχθούν ότι κάθε ηλεκτρόνιο έχει περάσει είτε από την σχισμή 1 είτε από τη σχισμή 2. Ξεκινώντας από αυτό το συλλογισμό μπορούμε να ζητήσουμε από τους μαθητές να μελετήσουν την ορθότητα της πρότασης «ένα ηλεκτρόνιο διέρχεται είτε μέσω της σχισμής 1 είτε μέσω της σχισμής 2». Εφόσον η πρόταση είναι αληθής θα πρέπει τα ηλεκτρόνια που φτάνουν στο πέτασμα να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, σε εκείνα που διέρχονται από τη σχισμή 1 και σε εκείνα που διέρχονται από τη σχισμή 2. Τότε θα πρέπει η παρατηρούμενη κατανομή στο πέτασμα θα πρέπει να προκύπτει από το άθροισμα των κατανομών των ηλεκτρονίων που περνούν τη σχισμή 1 και εκείνων που περνούν τη σχισμή 2. Η πειραματική μας διάταξη επιτρέπει τον έλεγχο της παραπάνω θεώρησης. Το αποτέλεσμα που προκύπτει όταν η μία σχισμή είναι ανοικτή είναι απόλυτα λογικό στους μαθητές. Το αποτέλεσμα όμως που προκύπτει όταν και οι δύο σχισμές είναι ανοικτές δεν είναι το άθροισμα των παραπάνω κατανομών. Κατά πλήρη αναλογία με την περίπτωση των υδάτινων κυμάτων πρέπει να αποδεχθούμε πως υπάρχει «συμβολή». Εδώ επιμένουμε στο να εξηγήσουμε τι αντίκτυπο έχει αυτό το αποτέλεσμα. Υπάρχουν ορισμένα σημεία στο πέτασμα στα οποία, όταν και οι δύο σχισμές είναι ανοικτές, φτάνουν πολύ λίγα ηλεκτρόνια, ενώ φτάνουν περισσότερα όταν κλείσουμε την μία σχισμή. Δηλαδή κλείνοντας τη μία σχισμή αυξήθηκε ο αριθμός των σωματιδίων που διέρχονται από την άλλη. Επίσης παρατηρούμε πως το κέντρο της κατανομής στο

διάγραμμα της εικόνας 6.11 είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των επιμέρους κατανομών για τη σχισμή 1 και για τη σχισμή 2.



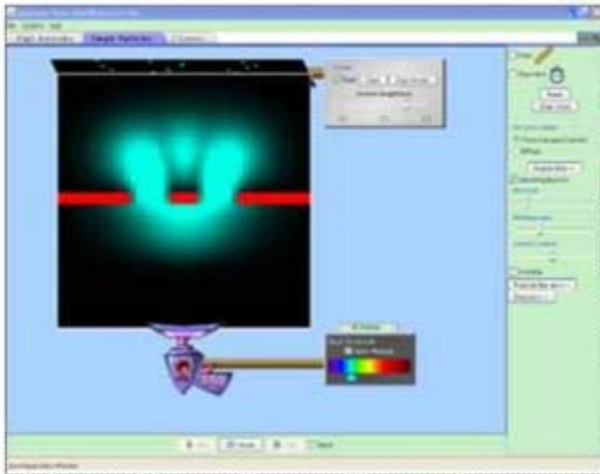
Εικόνα 6.11. Ελέγχοντας την ορθότητα της πρότασης: Ένα ηλεκτρόνιο διέρχεται είτε μέσω της σχισμής 1 είτε μέσω της σχισμής 2. Υπάρχουν ορισμένα σημεία στο πέτασμα στα οποία, όταν και οι δύο σχισμές είναι ανοικτές, φτάνουν πολύ λίγα ηλεκτρόνια, ενώ φτάνουν περισσότερα όταν κλείσουμε την μία σχισμή. Δηλαδή κλείνοντας τη μία σχισμή αυξήθηκε ο αριθμός των σωματιδίων που διέρχονται από την άλλη. Επίσης παρατηρούμε πως το κέντρο της κατανομής στο διάγραμμα της εικόνας είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των επιμέρους κατανομών για τη σχισμή 1 και για τη σχισμή 2.

Επεκτείνουμε στο σημείο αυτό τη συζήτηση στηριζόμενοι σε θέματα που έχουν διδαχθεί οι μαθητές στη Χημεία. Εξηγούμε πως το γεγονός ότι η συμπεριφορά των ηλεκτρονίων θυμίζει αυτή των υδάτινων κυμάτων δεν είναι τυχαίο. Η κατάσταση στο πέτασμα μπορεί να περιγραφεί με βάση δύο μιγαδικούς αριθμούς ψ_1 και ψ_2 . Το τετράγωνο της απόλυτης τιμής του ψ_1 περιγράφει την κατανομή που προκύπτει όταν είναι ανοικτή μόνο η σχισμή 1, δηλαδή είναι ανάλογο του $|\psi_1|^2$. Με ανάλογο τρόπο η κατανομή που προκύπτει όταν είναι ανοικτή η σχισμή 2 είναι ανάλογο του $|\psi_2|^2$. Το συνδυασμένο αποτέλεσμα, όταν μένουν ανοικτές και οι δύο οπές είναι ανάλογο του $|\psi_1 + \psi_2|^2$, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση των υδάτινων κυμάτων. Συνοψίζοντας, καταλήγουμε με τους μαθητές στο συμπέρασμα πως τα ηλεκτρόνια φτάνουν στο πέτασμα κατά ακέραια ποσά, όπως και οι σφαίρες, αλλά η πιθανότητα άφιξής τους παρουσιάζει κατανομή, ανάλογη με αυτή της κυματικής έντασης. Υπό αυτή την έννοια το ηλεκτρόνιο συμπεριφέρεται άλλοτε σαν σωματίδιο και άλλοτε σαν κύμα.

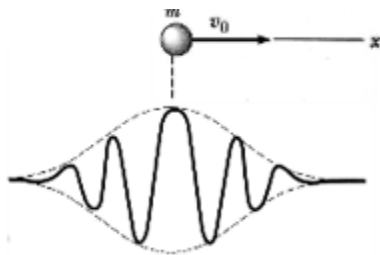
Ολοκληρώνοντας τη δεύτερη φάση της εκπαιδευτικής παρέμβασης παρουσιάζουμε το πείραμα συμβολής ηλεκτρονίων του Akira Tonomura και των συνεργατών του (Hitachi, 1989)¹⁶ που αποδεικνύει πειραματικά τη συμβολή των ηλεκτρονίων (Εικόνα 6.1). Επιπρόσθετα ανάλογα με το επίπεδο και την ανταπόκριση της τάξης στην προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση μπορούμε να εμβαθύνουμε στον όρο «κύμα πιθανότητας» εξηγώντας πως η εικόνα συμβολής προέρχεται από τη συμβολή κυμάτων πιθανότητας. Σε περίπτωση που ο εκπαιδευτικός επιθυμεί να προχωρήσει σε περαιτέρω ανάλυση του φαινομένου, προτείνεται η χρήση των προσομοιώσεων PheT όπου η πυκνότητα πιθανότητας για τα ηλεκτρόνια αναπαριστάται με μια φωτεινή κηλίδα που ξεκινά από την πηγή, περνά και από τις δυο σχισμές και καταλήγει ως ένα φωτεινό σημείο στο πέτασμα.

Η επόμενη φάση είναι η φάση της εμπέδωσης. Στην προτεινόμενη αυτή εκπαιδευτική προσέγγιση έχει πολύ μεγαλύτερη αξία καθώς η διαπραγμάτευση των θεμάτων της κβαντικής μηχανικής είναι κάτι εντελώς καινούργιο για τους μαθητές. Στην προσέγγιση αυτή και σε συνδυασμό με την συστηματική αξιολόγηση που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο, ο εκπαιδευτικός θα θέσει προς συζήτηση στην τάξη δύο θέματα τα οποία θα τον βοηθήσουν να διαπιστώσει την πραγματική επίδραση που είχε η προσέγγιση που ακολούθησε στη βαθύτερη κατανόηση των θεμάτων της κβαντικής μηχανικής από τους μαθητές. Με στόχο το να κατανοήσουν οι μαθητές ότι είναι απαραίτητη τόσο η κυματική όσο και η σωματιδιακή εικόνα του φωτός προκειμένου να εξηγηθούν τα αποτελέσματα του πειράματος της διπλής σχισμής τους παρουσιάζουμε το παρακάτω θέμα: Όταν μια μονοχρωματική ακτινοβολία περνά μέσα από ένα φράγμα διπλής σχισμής στο πέτασμα εμφανίζεται μια εικόνα συμβολής. Χρησιμοποιήστε την προσομοίωση PheT για την συμβολή κβαντικών κυμάτων για να ερευνήσετε τα φαινόμενα που αφορούν το πείραμα της διπλής σχισμής και να εξηγήσετε πως η εικόνα συμβολής που προκύπτει συμφωνεί τόσο με την ιδέα ενός κλασικού κύματος (ηλεκτρομαγνητικό κύμα με καθορισμένη συχνότητα και πλάτος ταλάντωσης) όσο και με την σωματιδιακή φύση του φωτός. Συμπεριλάβετε στην ερμηνεία σας την σχέση της κυματικής με την σωματιδιακή φύση του φωτός.

Quantum Wave Interference



Εικόνα 6.12. Οι προσομοιώσεις PheT αναπαριστούν την πυκνότητα πιθανότητας για τα ηλεκτρόνια με μια φωτεινή κηλίδα που ξεκινά από την πηγή, περνά και από τις δύο σχισμές και καταλήγει ως ένα φωτεινό σημείο στο πέτασμα.



Εικόνα 6.13. Βασιζόμενοι στο ότι το ηλεκτρόνιο έχει και κυματική φύση τονίζουμε ότι οι έννοιες σωματίδιο- κύμα δεν είναι ασυμβίβαστες, αλλά αλληλοσυμπληρώνει η μία την άλλη και εισάγουμε την έννοια του κυματοπακέτου που περικλείει και τις δύο αυτές έννοιες. Κάνουμε απλή σύνδεση με το διακρότημα που έχουν ήδη διδαχτεί.

Στη συνέχεια, αφού συζητηθεί αναλυτικά το παραπάνω ζήτημα επανερχόμαστε στην περίπτωση των ηλεκτρονίων και της διπλής τους φύσης αλλά στο πλαίσιο της μελέτης του ατόμου του Υδρογόνου, θέμα που είναι γνωστό στους μαθητές. Θέτουμε τώρα ως θέμα προς συζήτηση την ορθότητα της παρακάτω πρότασης: Ένα ηλεκτρόνιο μέσα σε ένα άτομο έχει καθορισμένη αλλά απροσδιόριστη θέση σε κάθε χρονική στιγμή.

Θα συζητήσουμε αναλυτικά τα αποτελέσματα της προσέγγισης αυτής στην επόμενη παράγραφο και θα δούμε πως τα παραπάνω θέματα προς συζήτηση μπορούν να βοηθήσουν τον εκπαιδευτικό να έχει άμεση εκτίμηση της επίδρασης που είχε το μάθημα του στην κατανόηση των φαινομένων αυτών από τους μαθητές.

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία οι μαθητές γράφουν μια αναφορά για την δραστηριότητα που πραγματοποίησαν. Η αναφορά τους θα πρέπει να περιλαμβάνει την λογική του πειράματος, τον αρχικό σχεδιασμό του, περιγραφή της πειραματικής διάταξης, περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε καθώς και την ανάλυση των ευρημάτων τους συνοδευόμενη από λεπτομερή περιγραφή των συμπερασμάτων τους.

6.5 Αξιολόγηση της Εκπαιδευτικής Προσέγγισης

6.5.1 Μεθοδολογία

Η αξιολόγηση της προτεινόμενης εκπαιδευτικής παρέμβασης παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες δυσκολίες από τις προηγούμενες παρεμβάσεις που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 4 και 5. Ο κύριος λόγος είναι ότι η συγκεκριμένη θεματική βρίσκεται στα όρια του αναλυτικού προγράμματος με αποτέλεσμα η διασύνδεση του προτεινόμενου εκπαιδευτικού σεναρίου με το αναλυτικό πρόγραμμα του Λυκείου (συμβολή κυμάτων, τροχιακά, άτομο Υδρογόνου, διπλή φύση φωτός) να απαιτεί μία συνθετική προσπάθεια τόσο από τον εκπαιδευτικό όσο και από τους μαθητές που έχουν διδαχθεί για τα συγκεκριμένα θέματα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές των δύο τελευταίων τάξεων του Λυκείου.

Όπως αναφέραμε στην παράγραφο 6.3 η μέθοδος Quantum Physics Conceptual Survey (QPCS) (Wuttigrom et al., 2009) κρίνεται αυτή τη στιγμή η πιο έγκυρη ειδικά για την αξιολόγηση των επιδόσεων αλλά και της βαθύτερης κατανόησης των βασικών αρχών της κβαντικής μηχανικής από μαθητές και φοιτητές που παρακολουθούν εισαγωγικά μαθήματα στην κβαντική μηχανική. Οι δημιουργοί της συγκεκριμένης μεθόδου αξιολόγησης, έχουν διαπιστώσει ότι οι μαθητές έχουν τις μεγαλύτερες δυσκολίες στο να απαντήσουν έξι (6) ερωτήσεις τις οποίες χαρακτηρίζουν ως ερμηνευτικές (interpretive).

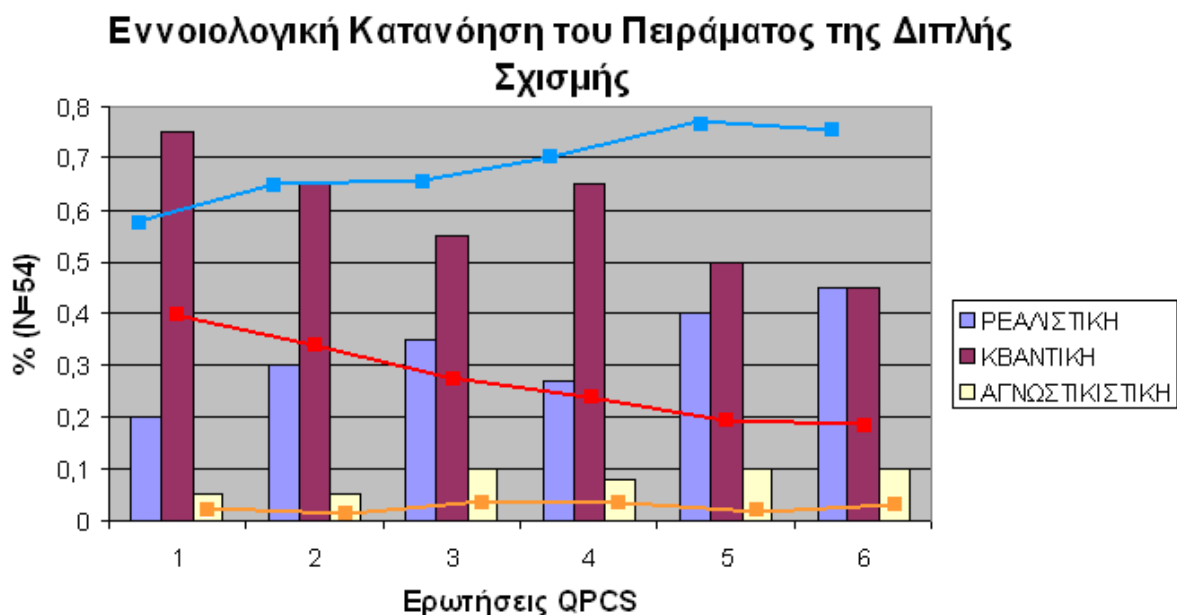
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω σχεδιάσαμε τη μεθοδολογία αξιολόγησης επιλέγοντας τις έξι (6) ερμηνευτικές ερωτήσεις από το σύστημα αξιολόγησης QPCS (**Παράρτημα III**) και πραγματοποιήσαμε ημι-δομημένες συνεντεύξεις με τους μαθητές μετά την ολοκλήρωση της εκπαιδευτικής παρέμβασης (**Παράρτημα IV**). Ακολουθώντας την προσέγγιση των Baily & Finkelstein (2010) κατατάσσουμε τους μαθητές, ανάλογα με τις απαντήσεις και τις εξηγήσεις που δίνουν σε τρεις κατηγορίες που εκφράζουν την Ρεαλιστική, την Κβαντική και την Αγνωστικιστική άποψη αντίστοιχα. Από τη σύγκριση του πλήθους των μαθητών που υποστηρίζουν τις αντίστοιχες απόψεις ελέγχουμε την επίδραση της προτεινόμενης παρέμβασης σε σχέση με τα αποτελέσματα της εφαρμογής του QPCS. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε μαθητές της Γ Λυκείου που έχουν ήδη διδαχθεί όλα τα επιμέρους θέματα (συμβολή κυμάτων, τροχιακά, άτομο Υδρογόνου, διπλή φύση φωτός) του αναλυτικού προγράμματος στα οποία η προσέγγισή μας οικοδομείται. Επιπρόσθετα η προτεινόμενη παρέμβαση παρουσιάστηκε σε ομάδα φοιτητών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών που συμμετείχαν εθελοντικά στη διαδικασία. Και σε αυτούς εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία αξιολόγησης και από την ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορέσαμε να καταλήξουμε σε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα.

Με βάση όσα έχουν διδαχθεί, αλλά και την προϋπάρχουσα αντίληψή τους οι μαθητές πιστεύουν ότι τα ηλεκτρόνια είναι σωματίδια και όχι κύματα (πρέπει να συμπεριφέρονται σαν μικρές σφαίρες) και είναι σίγουροι πως τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να εξαφανιστούν και ότι η θέση ενός σωματιδίου μπορεί να είναι γνωστή για οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η εκπαιδευτική προσέγγιση, σε συνδυασμό με τις οπτικοποιήσεις του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας αλλά και των προσομοιώσεων PheT φιλοδοξεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν τις αρχές του κυματοσωματιδικού дуΐσμού. Η παρουσίαση της εικόνας της συμβολής στο πέτασμα αποδεικνύει την κυματική φύση των ηλεκτρονίων στο πείραμα της διπλής σχισμής, ενώ η ανίχνευση του κάθε

μεμονωμένου ηλεκτρονίου στο πέτασμα είναι απόλυτα συμβατή με τη σωματιδιακή φύση του ηλεκτρονίου.

6.5.2 Ανάλυση των δεδομένων

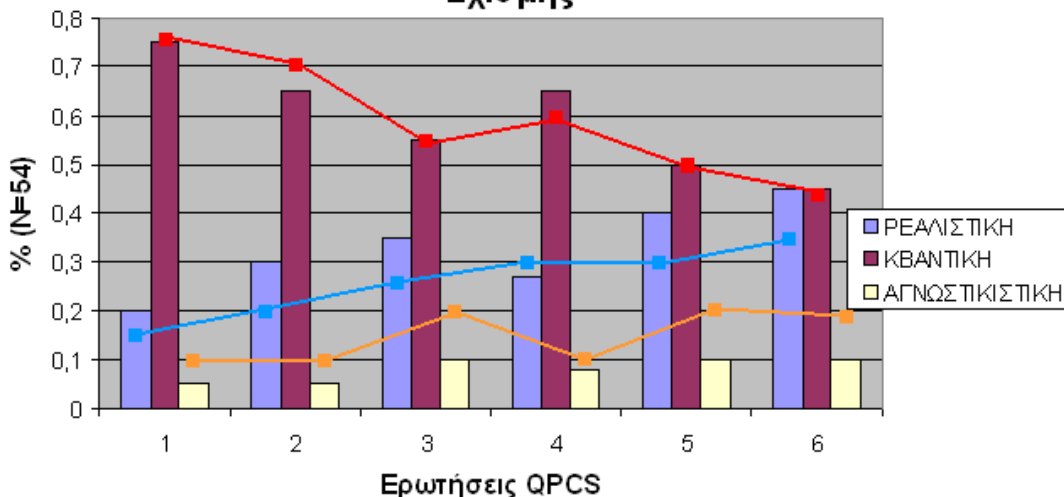
Ακολουθώντας την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση τον Φεβρουάριο του 2011 πραγματοποιήθηκαν μία σειρά μαθημάτων με μαθητές της Γ Λυκείου της «Ελληνογερμανικής Αγωγής». Στα μαθήματα συμμετείχαν συνολικά 54 μαθητές ηλικίας 17 με 18 ετών. 24 από αυτούς συμμετείχαν σε ημι-δομημένες συνεντεύξεις ώστε να πραγματοποιηθεί μία εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων και να επιβεβαιωθεί η επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των φαινομένων που είχαν παρουσιαστεί. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται στην εικόνα 6.14, όπου οι απαντήσεις των μαθητών έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με την άποψη που προσβέβουν (Κβαντική, Κλασική, Αγνωστικιστική) ανάλογα με τις εξηγήσεις που δίνουν για να τεκμηριώσουν την απάντησή τους. Οι περισσότεροι μαθητές απάντησαν επιλέγοντας μόνο μία θέση, υπήρχαν όμως περιπτώσεις που οι απαντήσεις που επιλέγησαν προσβέβουν τόσο την Κβαντική όσο και την Αγνωστικιστική άποψη ή την Κλασική και την Αγνωστικιστική άποψη. Κρίνουμε πως στις περιπτώσεις αυτές οι Αγνωστικιστικές επιλογές των μαθητών δεν ήταν ασύμβατες με την Κβαντική ή τη Κλασική άποψη αντίστοιχα, καθώς ταύτιση με την Αγνωστικιστική άποψη έδινε τη δυνατότητα στους μαθητές να αναγνωρίσουν πως δεν είχαν τη δυνατότητα να γνωρίζουν εάν οι επιλογές τους ήταν ορθές. Ο μικρός αριθμός τέτοιων απαντήσεων συμπεριλήφθηκε στον συνολικό αριθμό των Κβαντικών και των Κλασικών απαντήσεων αντίστοιχα.



Εικόνα 6.14: Το γράφημα παρουσιάζει μία σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα που επέτυχαν οι 54 μαθητές της Γ Λυκείου (στήλες) παρακολουθώντας την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση (υποστηριζόμενης από το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας και τις προσομοιώσεις) και στα αποτελέσματα (μέσες τιμές) του συστήματος αξιολόγησης QPCS (σημεία). Οι Κβαντικές απόψεις φαίνεται να επικρατούν έναντι των Κλασικών στις 4 πρώτες ερωτήσεις. Στις ερωτήσεις 5 και 6 όπου ο βαθμός δυσκολίας αυξάνει σημαντικά παρατηρείται ισορροπία μεταξύ των απόψεων των μαθητών. Το ποσοστό των Αγνωστικιστικών απόψεων είναι πολύ μικρό σε όλες τις ερωτήσεις.

Επίσης ακολουθώντας την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση τον Μάιο του 2011 πραγματοποιήθηκε μία διάλεξη με ταυτόχρονη επίδειξη του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας με φοιτητές του ΕΜΠ. Συμτείχαν συνολικά 18 φοιτητές ηλικίας 20 με 21 ετών. Και οι 18 φοιτητές έλαβαν μέρος στις ημι-δομημένες συνεντεύξεις ώστε να πραγματοποιηθεί μία εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων και να επιβεβαιωθεί η επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των φαινομένων που είχαν παρουσιαστεί. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται στην εικόνα 6.15, όπου οι απαντήσεις των μαθητών και των φοιτητών έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με την άποψη που πρεσβεύουν (Κβαντική, Κλασική, Αγνωστικιστική) ανάλογα με τις εξηγήσεις που δίνουν για να τεκμηριώσουν την απάντησή τους. Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι αγνωστικιστικές απόψεις είναι αρκετά υψηλότερες για τους φοιτητές ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις το ποσοστό των φοιτητών που χρησιμοποιεί τις ρεαλιστικές προσεγγίσεις για να εξηγήσει το πείραμα είναι μικρότερο από εκείνο των μαθητών.

Εννοιολογική Κατανόηση του Πειράματος της Διπλής Σχισμής

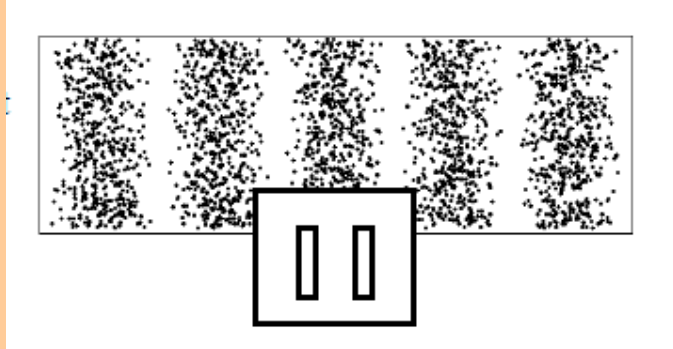


Εικόνα 6.15: Το γράφημα παρουσιάζει μία σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα που επέτυχαν οι 54 μαθητές της Γ Λυκείου (στήλες) παρακολουθώντας την προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση και στα αποτελέσματα που επέτυχαν οι 18 φοιτητές του ΕΜΠ (σημεία). Στις περισσότερες περιπτώσεις το ποσοστό των φοιτητών που χρησιμοποιεί τις ρεαλιστικές προσεγγίσεις για να εξηγήσει το πείραμα είναι μικρότερο από εκείνο των μαθητών.

Το σχολικό βιβλίο Φυσικής της Γ' Λυκείου παρουσιάζοντας την εξέλιξη των επιστημονικών απόψεων για το άτομο του Υδρογόνου αναφέρει πως στην πραγματικότητα το ηλεκτρόνιο αναπαρίσταται με ένα «νέφος πιθανότητας» που περιβάλλει τον πυρήνα και του οποίου η κυματοσυνάρτηση αποτελεί λύση της εξίσωσης του Schrodinger, χωρίς περαιτέρω αναφορά ή επεξήγηση. Η αναφορά αυτή μας έδωσε μία μοναδική ευκαιρία για την εκτίμηση του βαθμού κατανόησης των υπο συζήτηση θεμάτων από τους μαθητές. Θεωρήσαμε πως θα μπορούσαμε να ελέγξουμε το βαθμό της εννοιολογικής κατανόησης των όσων άκουσαν και «είδαν» οι μαθητές, στη μελέτη του ατόμου του Υδρογόνου, το οποίο έχουν διδαχθεί ακολουθώντας όμως την κλασική προσέγγιση. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε ένα σύντομο πλαίσιο ημι-δομημένης συνέντευξης (**Παράρτημα IV**) που ξεκινούσε από μία συζήτηση για το κλασικό πείραμα του Thomas Young (συμβολή φωτονίων) ως ακολούθως

A. Παρακαλούμε περιγράψτε το ακόλουθο πείραμα στους μαθητές.

Εκτοξεύουμε μια δέσμη φωτονίων η οποία διαπερνά ένα φράγμα διπλής σχισμής και καταλήγει σε ένα πέτασμα. Η δέσμη είναι τόσο ασθενής ώστε τα φωτόνια φθάνουν στο πέτασμα ένα – ένα. Παρόλα αυτά, μετά από αρκετή ώρα εμφανίζεται μια εικόνα συμβολής όπως φαίνεται στο σχήμα στα δεξιά.



Παρακαλούμε ρωτήστε το μαθητή:

Τι μπορείς να πεις σχετικά με το από ποια σχισμή πέρασε κάθε φωτόνιο;

A. Κάθε φωτόνιο περνά είτε από την δεξιά είτε από την αριστερή σχισμή. Αν είχαμε ένα πολύ καλό ανιχνευτή θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε από ποια ακριβώς σχισμή περνά χωρίς να μεταβληθεί η εικόνα συμβολής.

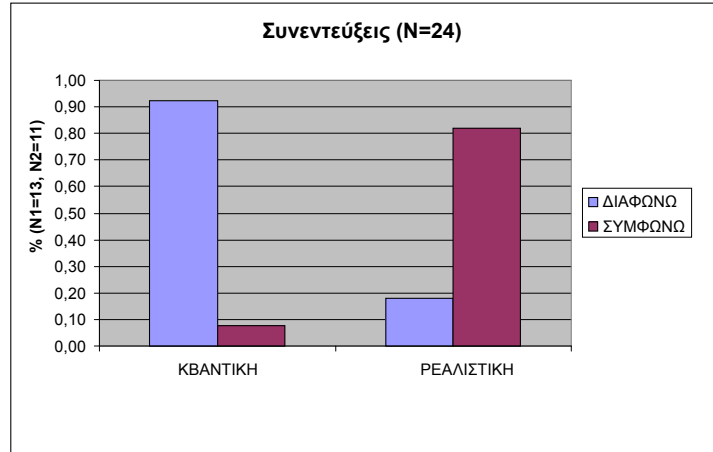
B. Κάθε φωτόνιο περνά είτε από την δεξιά είτε από την αριστερή σχισμή, αλλά είναι εξ'ορισμού αδύνατο να προσδιορίσουμε από ποια σχισμή συγκεκριμένα.

Γ. Κάθε φωτόνιο περνά και από τις δυο σχισμές. Αν είχαμε ένα πολύ καλό ανιχνευτή θα μετρούσαμε ένα φωτόνιο και στις δυο σχισμές ταυτόχρονα.

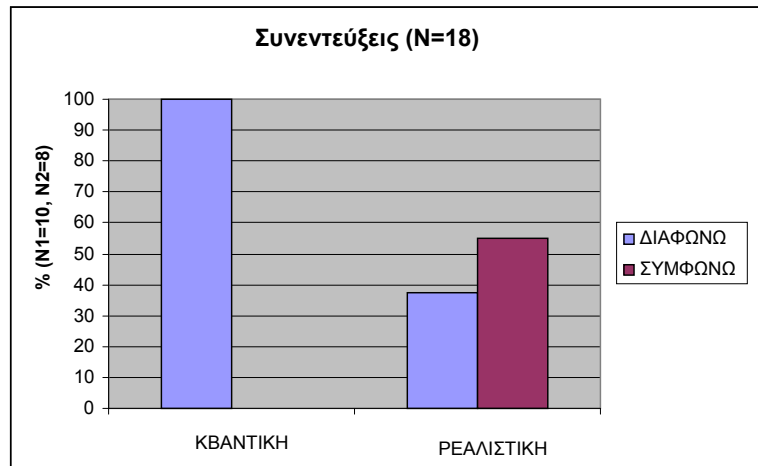
Δ. Κάθε φωτόνιο περνά και από τις δυο σχισμές. Αν είχαμε ένα πολύ καλό ανιχνευτή θα μπορούσαμε να δούμε ένα φωτόνιο να περνά από την αριστερή ή από την δεξιά σχισμή αλλά η μέτρηση αυτή θα κατέστρεφε την εικόνα συμβολής.

E. Είναι αδύνατον να προσδιορίσουμε αν ένα φωτόνιο πέρασε από μια ή και από τις δυο σχισμές.

Στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός ζητούσε από τους μαθητές να δικαιολογήσουν την επιλογή τους. Στην περίπτωση που η επιλογή τους ήταν το Δ ο εκπαιδευτικός θα έπρεπε να ζητήσει να δικαιολογήσουν την πρόταση «η μέτρηση αυτή θα κατέστρεφε την εικόνα συμβολής». Στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός ζητούσε από τους μαθητές να απαντήσουν σχετικά με την ορθότητα της πρότασης: Ένα ηλεκτρόνιο μέσα στο άτομο του Υδρογόνου έχει καθορισμένη αλλά απροσδιόριστη θέση σε κάθε χρονική στιγμή. Οι μαθητές μπορούσαν να απαντήσουν με πέντε επιλογές που κυμαίνονταν από πλήρη συμφωνία μέχρι πλήρη διαφωνία. Πλήρης διαφωνία στην πρόταση αυτή είναι συνεπής με την Κβαντική άποψη. Εάν ο μαθητής έχει επιλέξει την απάντηση Δ στην πρώτη σειρά ερωτημάτων για το πείραμα του Thomas Young και εκφράσει πλήρη διαφωνία στην πρόταση για τη θέση του ηλεκτρονίου στο άτομο του Υδρογόνου τότε μπορούμε να ισχυριστούμε πως έχει αποδεχθεί και έχει κατανοήσει την Κβαντική άποψη και μάλιστα είναι σε θέση να την «εκφράσει» και σε ένα διαφορετικό σύστημα που μέχρι σήμερα το έβλεπε μέσω της κλασικής του απεικόνισης. Αντίθετα συμφωνία ή πλήρης συμφωνία με την παραπάνω πρόταση είναι συνεπής με την Κλασική άποψη και αποδεικνύει ότι ο μαθητής δεν έχει καταφέρει να «μεταφέρει» όσα άκουσε στην αναπαράσταση του ατόμου του Υδρογόνου. Δεκατρείς (13) μαθητές (13) που παρουσίασαν την Κβαντική άποψη και έντεκα (11) μαθητές που παρουσίασαν την Ρεαλιστική άποψη συμμετείχαν στις συνεντεύξεις. Επίσης στις συνεντεύξεις έλαβαν μέρος και όλοι οι φοιτητές (18) του ΕΜΠ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικόνα 6.16 για τους μαθητές και στην εικόνα 6.17 για τους φοιτητές.



Εικόνα 6.16: Σχεδόν όλοι οι μαθητές που απάντησαν το ερωτηματολόγιο ακολουθώντας μία κβαντική αντίληψη περιγράφουν τη συμπεριφορά του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου με αντίστοιχο τρόπο, διαφωνώντας με την πρόταση πως το ηλεκτρόνιο έχει καθορισμένη θέση στο άτομο.



Εικόνα 6.17: Όλοι οι φοιτητές που απάντησαν το ερωτηματολόγιο ακολουθώντας μία κβαντική αντίληψη περιγράφουν τη συμπεριφορά του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου με αντίστοιχο τρόπο, διαφωνώντας με την πρόταση πως το ηλεκτρόνιο έχει καθορισμένη θέση στο άτομο.

Τα αποτελέσματα αυτά κρίνονται ως πολύ σημαντικά λαμβάνοντας υπόψη πως τα δεδομένα από άλλες έρευνες δείχνουν πως μόνο το 50% των μαθητών που έχουν περιγράψει με την Κβαντική άποψη το πείραμα της διπλής σχισμής είναι σε θέση να συνδέσει τη συμπεριφορά του ηλεκτρονίου στο άτομο με αυτή που παρουσιάζουν τα ηλεκτρόνια στο πείραμα της διπλής σχισμής. Οι μαθητές, εξαιτίας του γεγονότος ότι έχουν πρόσφατα ασχοληθεί με τη μελέτη του ατόμου του Υδρογόνου ακολουθώντας την κλασική προσέγγιση δείχνουν ξεκάθαρα μία προτίμηση προς την ρεαλιστική αναπαράσταση του ηλεκτρονίου και επομένως το να έχει καθορισμένη θέση το ηλεκτρόνιο γύρω από τον πυρήνα τους φαίνεται απόλυτα λογικό ακόμη και εάν έχει προηγηθεί η παρουσίαση του πειράματος της διπλής σχισμής. Στη μελέτη μας αποδεικνύουμε πως τόσο οι μαθητές, όσο και οι φοιτητές, μετά την προτεινόμενη παρέμβαση, που αποδέχονται την κυματική φύση των ηλεκτρονίων και των φωτονίων όταν αυτά κινούνται μεταξύ πηγής και πετάσματος, κατανοούν πως το ηλεκτρόνιο θα πρέπει να συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο και στο άτομο. Θα πρέπει να σημειώσουμε επίσης πως οι φοιτητές που αποδέχονται την ρεαλιστική άποψη για το πείραμα της διπλής σχισμής, διαφωνούν στο ότι το ηλεκτρόνιο έχει συγκεκριμένη θέση στο άτομο του υδρογόνου.

6.6 Συμπεράσματα

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η συνδυασμένη χρήση της ανακαλυπτικής προσέγγισης και των οπτικοποιήσεων των πολύπλοκων μηχανισμών της Κβαντικής Φυσικής μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας βοηθάει τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα το πείραμα της διπλής σχισμής και παράλληλα να είναι σε θέση να επεκτείνουν τη θεώρησή τους και σε άλλες περιπτώσεις, όπως το άτομο του Υδρογόνου, παρά το γεγονός ότι το έχουν διαπραγματευτεί ακολουθώντας την κλασική προσέγγιση που υιοθετεί το σχολικό βιβλίο. Καθώς στη μελέτη μας δεν ήταν δυνατόν να έχουμε ομάδα ελέγχου (αφού τα ζητήματα που διαπραγματευόμαστε βρίσκονται στα όρια του αναλυτικού προγράμματος σπουδών του Λυκείου), βασιστήκαμε στη χρήση της έγκυρης μεθοδολογίας αξιολόγησης QPCS, επιλέγοντας τις έξι (6) ερμηνευτικές ερωτήσεις που περιλαμβάνει, στις οποίες το ποσοστό των μαθητών που απαντάει σωστά είναι πολύ περιορισμένο. Παράλληλα, ακολουθώντας τη μεθοδολογία των Baily & Finkelstein (2010) κατατάξαμε τους μαθητές, ανάλογα με τις απαντήσεις και τις εξηγήσεις που δίνουν για το πείραμα της διπλής σχισμής σε τρεις κατηγορίες που εκφράζουν την Ρεαλιστική, την Κβαντική και την Αγνωστικιστική άποψη αντίστοιχα. Επιπρόσθετα εφαρμόσαμε την ίδια προσέγγιση για ομάδα φοιτητών του ΕΜΠ. Όλα τα αποτελέσματα συγκλίνουν στο ότι οι μαθητές (και οι φοιτητές) επέτυχαν επιδόσεις πολύ υψηλότερες από τις μέσες τιμές της μεθοδολογίας QPCS. Επιπρόσθετα σημαντικό ποσοστό των μαθητών που υποστήριξαν την Κβαντική άποψη στην ανάλυση του πειράματος της διπλής σχισμής υιοθέτησε την ίδια άποψη και για την περιγραφή της συμπεριφοράς του ηλεκτρονίου στο άτομο του Υδρογόνου κάτι που αποδεικνύει τη βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση που έχει επιτευχθεί.

Σε όλες τις περιπτώσεις, ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα συγκλίνουν πως η χρήση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας, πλαισιωμένου με την προτεινόμενη εκπαιδευτική προσέγγιση

- συμβάλλει αποτελεσματικά στην βελτίωση της εκπαιδευτικής πρακτικής στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, καθιστώντας δυνατή την εισαγωγή στο αναλυτικό πρόγραμμα του Λυκείου θεμάτων, που μέχρι σήμερα θεωρούνταν εξαιρετικά δύσκολα για τους μαθητές.
- βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των μαθητών σε γνωστικό επίπεδο συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων (που αφορούν κύρια στους νόμους της Κβαντικής Μηχανικής).
- υποστηρίζει αποτελεσματικά την ένταξη ανακαλυπτικών προσεγγίσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία μεταφέροντας το επίκεντρο του ενδιαφέροντος στον μαθητή, εμπλέκοντας τον ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, αυξάνοντας τελικά τον ενδιαφέρον του για το μάθημα και τα υπό μελέτη θέματα.
- υποστηρίζει το έργο του εκπαιδευτικού διαφοροποιώντας το προφίλ του παραδοσιακού μαθήματος καθώς προσφέρει ένα περιβάλλον στο οποίο η κάθε δραστηριότητα (πχ ο πειραματισμός με το σύστημα και η εικονική αναπαράσταση του πειράματος της διπλής σχισμής) μπορεί να αποτελέσει αφορμή για την παρουσίαση φυσικών φαινομένων και εννοιών που μέχρι σήμερα παρουσιάζονται με τρόπο θεωρητικό και απόμακρο.
- εμπλουτίζει το μάθημα με μία σειρά από δραστηριότητες που αποτελούν τη βάση για την ένταξη της επιστημονικής μεθοδολογίας στην εκπαιδευτική πράξη και την ανάπτυξη σχετικών δεξιοτήτων στους μαθητές (παρουσίαση τεκμηριωμένων απόψεων, οργάνωση σκέψης, ανάπτυξη κριτικής σκέψης, δυνατότητα συνεργασίας, παρουσίαση αποτελεσμάτων στο κοινό).

7 Παραρτήματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

1. Εγκάρσια και διαμήκη κύματα

Συμπληρώστε τις λέξεις που λείπουν και απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις.

Με κριτήριο τη κατά την οποία κινούνται τα σημεία του μέσου τα κύματα διακρίνονται σε εγκάρσια και διαμήκη.

Εγκάρσια κύματα. Όλα τα σημεία του μέσου ταλαντώνονται στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Στα εγκάρσια κύματα έχουμε και

Σχεδίασε ένα εγκάρσιο κύμα



Διαμήκη κύματα. Όλα τα σημεία του μέσου ταλαντώνονται στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Στα διαμήκη κύματα έχουμε και

Σχεδίασε ένα διαμήκες κύμα



Ποια είναι η φύση της διαταραχής για τα υδατικά, ηχητικά, σεισμικά και ηλεκτρομαγνητικά κύματα;

Να αναφέρετε ένα πιθανό αποτέλεσμα τους.

Πως δημιουργείται ένα Η/Μ κύμα και ποια είναι τα χαρακτηριστικά ενός Η/Μ κύματος που παράγεται από παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο.

Σε ένα Η/Μ κύμα:

α) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετη στην ένταση του μαγνητικού πεδίου και παράλληλη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

β) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετες μεταξύ τους και κάθετες στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

γ) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι παράλληλες μεταξύ τους

δ) Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετη στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και παράλληλη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

2. Ποιες από τις παρακάτω είναι οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα Η/Μ κύμα σ'ένα συγκεκριμένο μέσο;

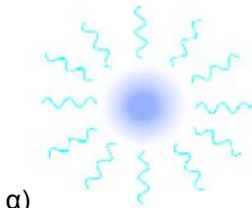
α) λ (μήκος κύματος Η/Μ) , c_0 (ταχύτητα διάδοσης στο κενό)

β) E (ενέργεια Η/Μ κύματος), c_s (ταχύτητα διάδοσης)

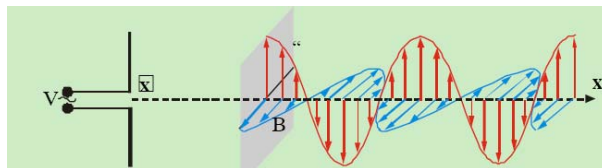
γ) f (συχνότητα Η/Μ), T (περίοδος Η/Μ)

δ) λ (μήκος κύματος), f (συχνότητα Η/Μ)

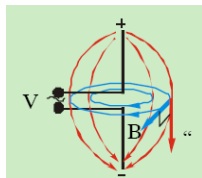
3. Ποιό από τα παρακάτω διαγράμματα αναπαριστά τις δυναμικές γραμμές ενός Η/Μ πεδίου που παράγεται από μία κεραία;



α)



β)

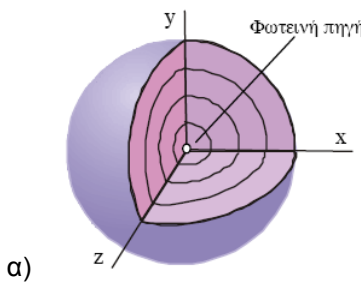


γ)

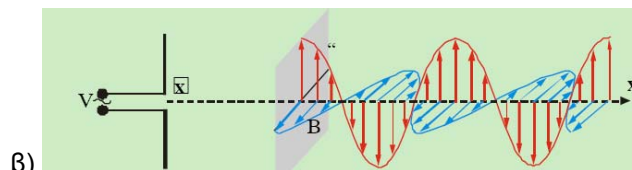


δ)

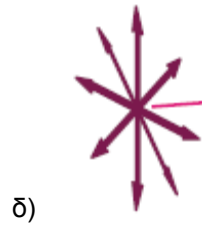
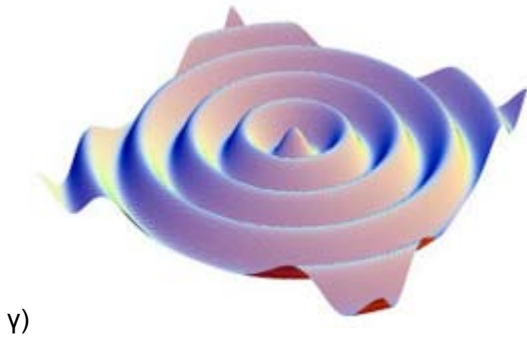
4. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα αναπαριστά την μεταβολή της έντασης ενός Η/Μ πεδίου που παράγεται από μία κεραία;



α)



β)



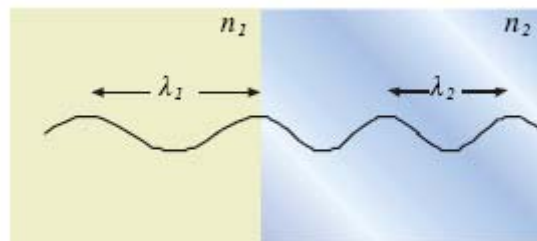
5. Η ταχύτητα του φωτός:

- α) είναι μεγαλύτερη στο νερό παρά στο κενό
- β) είναι μέγιστη στο κενό
- γ) είναι ελάχιστη στο κενό
- δ) είναι ίδια σε όλα τα μέσα

6. Όταν το φως αλλάζει μέσο διάδοσης τότε :

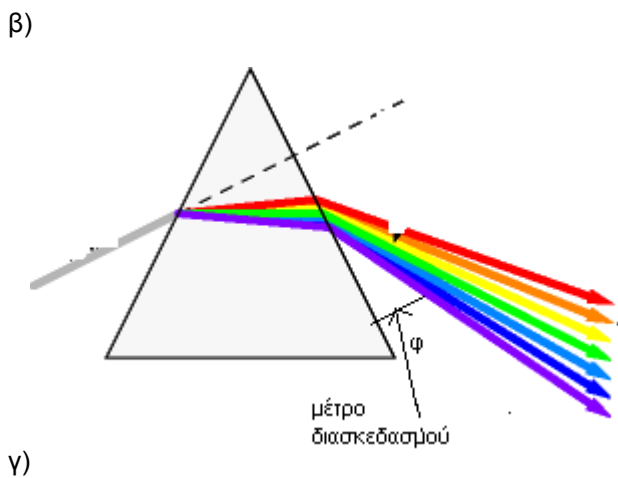
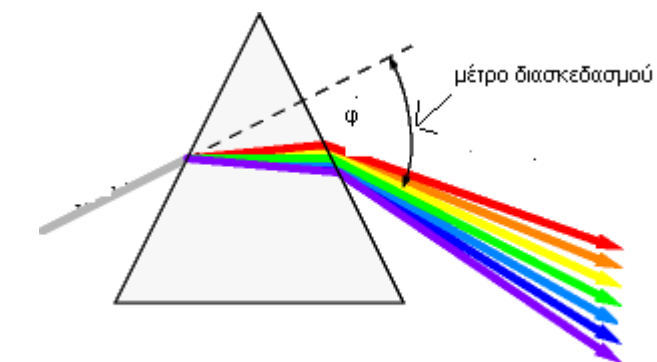
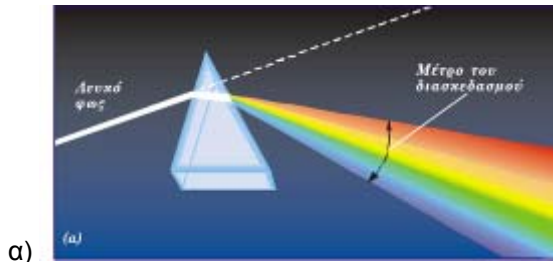
- α) μεταβάλλονται η ταχύτητα διάδοσης και η συχνότητά του
- β) μεταβάλλονται η συχνότητά του και το μήκος κύματός του
- γ) μεταβάλλονται η ταχύτητα διάδοσης και το μήκος κύματός του
- δ) μεταβάλλεται η συχνότητά του αλλά το μήκος κύματός του παραμένει σταθερό

7. Η εικόνα παριστά την μείωση του μήκους κύματος, όταν μονοχρωματική ακτινοβολία περνά από το μέσον (1) στο μέσον (2). Για τους δείκτες διάθλασης των δύο μέσων ισχύει :



- α) $n_1 < n_2$
- β) $n_1 > n_2$
- γ) $n_1 = n_2$
- δ) $n_1 = 2n_2$

8. Στο παρακάτω σχήματα επιλέξτε αυτό με την σωστή γωνία που καθορίζει το μέτρο διασκεδάσμου του λευκού φωτός όταν διέρχεται από ένα πρίσμα



9. Η υπεριώδης ακτινοβολία

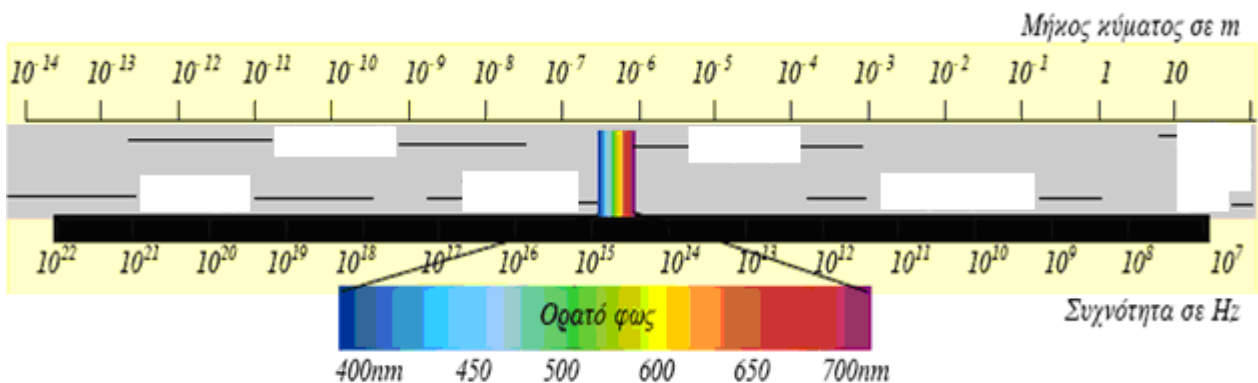
- α) μετατρέπει το όζον της ατμοσφαιρας σε οξυγόνο
- β) μετατρέπει το οξυγόνο της ατμόσφαιρας σε όζον
- γ) δεν προκαλεί καμία μεταβολή ούτε στο οξυγόνο ούτε στο όζον της ατμόσφαιρας
- δ) μεταβάλλει το οξυγόνο σε όζον μόνο όταν έχει πολύ μικρό μήκος κύματος

10. Η υπέρυθη ακτινοβολία

- α) έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από την ορατή
- β) έχει μήκος κύματος μικρότερο από 1 nm
- γ) βρίσκεται μέσα στην ζώνη του ορατού φωτός
- δ) έχει μικρότερο μήκος κύματος από την ορατή

11. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Μέσα στα λευκά κουτιά σημειώστε τις υπό-περιοχές του φάσματος που αντιστοιχούν στα:

- α) Υπέρυθρο
- β) Ραδιοκύματα
- γ) Ακτίνες Χ
- δ) Μικροκύματα
- ε) Ακτίνες γ
- στ) Υπεριώδες



Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις σχετικά με το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και τις υποπεριοχές του:

Τα κινητά τηλέφωνα και ο φούρνος μικροκυμάτων χρησιμοποιούν ακτινοβολία από την ίδια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος;

Ποια η διαφορά μεταξύ ραδιοφωνικών κυμάτων και ορατού φωτός;

Αφού το ορατό φως και οι ακτίνες Χ είναι διαφορετικές εκφράσεις του ίδιου φαινομένου γιατί το ορατό φως είναι ακίνδυνο για τον άνθρωπο, ενώ οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γ πολύ επικίνδυνες;

Πώς είναι γνωστή η σύσταση των αστρικών ατμοσφαιρών, αφού δεν έχει φθάσει εκεί γήινο διαστημόπλοιο;

Υπάρχει σύγχρονη ασύρματη μέθοδος επικοινωνίας, η οποία να μην στηρίζεται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα;

12. Οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται

- α) στην ραδιοφωνία
- β) στην μετάδοση του σήματος της τηλεόρασης
- γ) στα ραδιοτηλεσκόπια
- δ) στην ιατρική για διαγνωστικούς σκοπούς

13. Τα Η/Μ κύματα που χρησιμοποιούνται στην κινητή τηλεφωνία βρίσκονται στην περιοχή

- α) των μικροκυμάτων
- β) των ακτίνων Χ
- γ) των ακτίνων γ
- δ) του ορατού φωτός

14. Ποιά ακτινοβολία είναι πιο επικίνδυνη για τον άνθρωπο ;

- α) Η ακτινοβολία ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως
- β) Η ακτινοβολία ενός φούρνου μικροκυμάτων
- γ) Η ακτινοβολία που εκπέμπει σταθμός ραδιοφώνου
- δ) Η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου

ΟΝΟΜΑ:

ΤΜΗΜΑ:

ΒΑΘΜΟΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Ο βαθμός δυσκολίας της προσπάθειας που κατέβαλα για να κατανοήσω τις έννοιες που περιγράφονται στο ερωτηματολόγιο που μου δόθηκε, ήταν:

(Κυκλώστε ανάλογα έναν **μόνο** αριθμό από το 1 έως το 9)

Πάρα πολύ χαμηλός		χαμηλός		<u>μέτριος</u> ±		υψηλός		Πάρα πολύ υψηλός
1	2	3	4	5	6	7	8	9

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΤΑΣΗΣ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

Όνομα: _____

Παρακάτω υπάρχουν ζευγάρια λέξεων που σχετίζονται με τη 'μελέτη των Φυσικών Επιστημών στην τάξη. Οι λέξεις σε κάθε ζευγάρι είναι αντίθετες. Βάλτε ένα Χ σε ένα από τα τετράγωνα που εκφράζει τη διάθεσή σου σε σχέση με τις δύο λέξεις.

Η μελέτη των Φυσικών Επιστημών στην τάξη μου είναι:

	1	2	3	4	5	
Σημαντική						Όχι σημαντική
Μη ξεκάθαρη						Ξεκάθαρη
Ευχάριστη						Μη ευχάριστη
Καλά οργανωμένη						Ανοργάνωτη
Όχι ενδιαφέρουσα						Ενδιαφέρουσα
Εύκολη						Δύσκολη
Παρέχει ελευθερίες στις επιλογές των μαθητών						Πολύ δομημένη
Δύσκολη στην κατανόηση						Εύκολη στην κατανόηση
Επουσιώδη						Ουσιαστική
Διαδραστική						Όχι διαδραστική
Απαρχαιωμένη						Αυθεντική
Ενθαρρύνει τους μαθητές να ρωτούν ερωτήσεις						Αποθαρρύνει τους μαθητές να ρωτούν ερωτήσεις
Ενθαρρύνει τους μαθητές για ομαδική εργασία						Αποθαρρύνει τους μαθητές για ομαδική εργασία
Χρήσιμη						Άχρηστη

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ/ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ/ΑΞΙΑΣ

Το όνομά σου _____

Αγαπητέ μαθητή,

Παρακάτω θα διαβάσεις μερικές προτάσεις σχετικά με την εμπειρία σου με το έκθεμα «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα». Σου ζητάμε τη γνώμη σου πάνω σε αυτές τις προτάσεις. Δεν υπάρχουν σωστές και λάθος απαντήσεις, απλώς σου ζητάμε τη γνώμη σου.

Βάλε ένα X ως απάντηση για κάθε πρόταση. Αξιολόγησε τις παραμέτρους του μαθήματος από ένα ως 7, όπου 1 ισοδυναμεί με 'διαφωνώ εντόνως' και 7 με 'συμφωνώ απόλυτα'. Στην κλίμακα αυτή το 1 αναπαριστά την χαμηλότερη και πλέον αρνητική εντύπωση, το 4 αντιστοιχεί σε ικανοποιητική εντύπωση, και το 7 την υψηλότερη και πλέον θετική.

	1 διαφωνώ απολύτως	2	3	4	5	6	7 συμφωνώ απολύτως
Είμαι ικανοποιημένος/η με την απόδοσή μου με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							
Νομίζω ότι είμαι αρκετά καλός/η με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							
Έμουν αρκετά επιδέξιος/α με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							
Το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» ήταν μια δραστηριότητα που δεν μπόρεσα να κάνω καλά.							
Νομίζω ότι τα πήγα πολύ καλά με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» σε σύγκριση με άλλους μαθητές.							
Ήταν σημαντικό για μένα να πάω καλά με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							
Δεν προσπάθησα πολύ σκληρά ώστε να πάω καλά με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							
Προσπάθησα πολύ ώστε να πάω καλά με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							
Κατέβαλα μεγάλη προσπάθεια για το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα».							

	1 διαφωνώ απολύτως	2	3	4	5	6	7 συμφωνώ απολύτως
Νομίζω ότι η δραστηριότητα με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» ήταν βαρετή.							
Το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» δεν κέρδισε την προσοχή μου καθόλου.							
Ευχαριστήθηκα πολύ κάνοντας την «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» δραστηριότητα.							
Το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» είχε πλάκα.							
Ενώ έκανα την «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» δραστηριότητα, σκεφτόμουν πόσο πολύ την απολάμβανα.							
Νομίζω ότι η «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» δραστηριότητα ήταν πολύ ευχάριστη.							
Θα περιέγραφα το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» ως πολύ ενδιαφέρον.							
Νομίζω ότι η ενασχόληση με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» είναι χρήσιμη για να μάθω για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία.							
Νομίζω ότι το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» είναι σημαντικό να κάνω γιατί μπορεί να βελτιώσει τις ικανότητες μου.							
Νομίζω ότι το να δουλέψω με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» θα με βοηθήσει να μάθω γρηγορότερα από ότι αν χρησιμοποιούσα άλλα μέσα							
Πιστεύω ότι το να δουλέψω με το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» μπορεί να είναι ωφέλιμο για μένα.							
Νομίζω ότι το «Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα» είναι μια σημαντική δραστηριότητα.							

ΠΛΑΝΟ ΗΜΙ-ΔΟΜΗΜΕΝΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ

- Δοκιμάσατε το AR;
- Πως σας φάνηκε;
- Τι ήταν διαφορετικό σε σχέση με τις συνηθισμένες εκπαιδευτικές εκδρομές?
- Τι ήταν το πιο διασκεδαστικό σε αυτήν την εμπειρία?
- Τι ήταν χαζό, βαρετό, ή σας μπέρδεψε και γενικώς όχι διασκεδαστικό?
- Έχεις καμία ανησυχία σχετικά με τη χρήση των γυαλιών και του σακιδίου?
- Τι θα ήθελες να αλλάξει για να γίνει μία καλύτερη εμπειρία για σένα?

Μετά την επίσκεψη σε ένα μουσείο, οι μαθητές συνήθως έχουν ερωτήσεις που θα θέλανε να ρωτήσουν. Μετά την σημερινή επίσκεψη, και συγκεκριμένα μετά την επίσκεψη στο Η/Μ τι θα θέλατε να ρωτήσετε?

Θα ήθελα να εστιάσετε στην AR τεχνολογία, όπου ο μαθητής βλέπει τα διανύσματα των δυνάμεων τοποθετημένα πάνω από το έκθεμα. Τώρα υποθέστε ότι δεν υπήρχαν προβλήματα με την τεχνολογία.

- Τι πλεονεκτήματα βλέπετε να προσφέρει η τεχνολογία;
- Τι αρνητικές επιπτώσεις βλέπετε?
- Με άλλα λόγια, τι νέες πιθανότητες για μάθηση και διδασκαλία νομίζετε ότι η νέα τεχνολογία προσφέρει?
- Την ίδια στιγμή, τι νομίζετε ότι κίνδυνοι ή περιορισμοί ελλοχεύουν πίσω από την τεχνολογία?

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ



Αγαπητέ συνάδελφε,

Αυτό είναι ένα τεστ αξιολόγησης για το **έκθεμα μινιατούρα της Διπλής Σχισμής**. Αυτό το τεστ πρέπει να μοιραστεί στους μαθητές μετά την ολοκλήρωση του πειράματος. Η διαδικασία για την διεξαγωγή των προτεινόμενων δραστηριοτήτων περιγράφεται αναλυτικά στην [εκπαιδευτική διαδρομή «Το πείραμα της διπλής σχισμής – Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός.»](#)

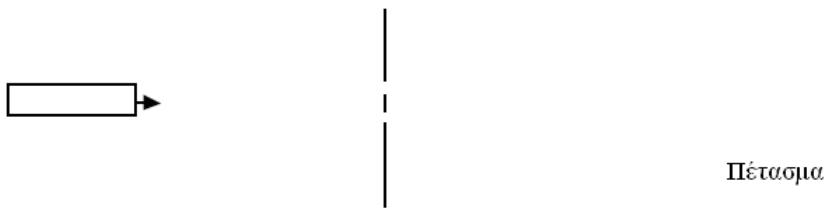
Αγαπητέ μαθητή,

Το πείραμα της διπλής σχισμής του «Science Centre To Go» προσομοιώνει ένα από τα πιο διάσημα πειράματα της Φυσικής. Το πείραμα της διπλής σχισμής είναι ένα πείραμα κλασικής Φυσικής που διεξήχθη για πρώτη φορά στις αρχές του 19^{ου} αιώνα από τον Βρετανό επιστήμονα Thomas Young σε μια προσπάθεια να δώσει λύση στο μυστήριο της φύσης του φωτός. Το φαινόμενο ότι το φως συμπεριφέρεται άλλοτε σαν κύμα και άλλοτε σαν σωματίδιο είναι γνωστό ως *κυματοσωματιδιακός δυϊσμός*. Τα υποατομικά σωματίδια όπως για παράδειγμα τα ηλεκτρόνια παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά κυματοσωματιδιακού δυϊσμού.

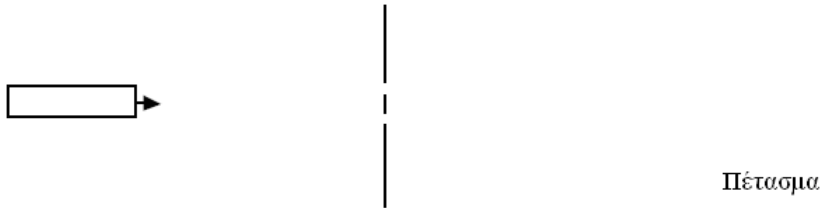
Με το **πείραμα της διπλής σχισμής του «Science Centre To Go»** η ομάδα μας επιχειρεί να προσομοιώσει αυτό το πείραμα μέσα στην τάξη. Οι απαντήσεις σου στο ακόλουθο ερωτηματολόγιο θα μας βοηθήσουν να αναπτύξουμε και να βελτιώσουμε το σύστημα του πειράματος προκειμένου να βοηθήσουμε όλους τους μαθητές να καταλάβουν τις έννοιες της Φυσικής πίσω από αυτό το συγκεκριμένο πείραμα καθώς και τα αποτελέσματά του. Σε παρακαλούμε λοιπόν να αφιερώσεις 15 λεπτά από τον χρόνο σου και να απαντήσεις προσεκτικά στις παρακάτω 6 ερωτήσεις.

Ερώτηση 1:

1. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τη πάνω όψη της διάταξης του πειράματος της διπλής σχισμής.
α. Με βάση την σωματιδιακή φύση του φωτός, σχεδίασε τις αναμενόμενες σκιές.



- β. Τώρα, με βάση τις παρατηρήσεις σου σχεδίασε την εικόνα που παρατηρείς.



- γ. Εξήγησε τι συνέβη στο φως προκειμένου να παραχθούν οι φωτεινοί και οι σκοτεινοί κροσσοί. Γιατί η σωματιδιακή φύση του φωτός δεν επαρκεί για να εξηγήσει αυτό που παρατηρούμε;



Ερώτηση 2: Με βάση την γνώση σου για την κυματική φύση του φωτός, προσπάθησε να προβλέψεις το σχέδιο που θα έβλεπες αν μια ακτίνα laser έφτανε στο πέτασμα αφού διαπερνούσε ένα φράγμα με μια κάθετη σχισμή. Σχεδίασε και εξήγησε την πρόβλεψή σου.

Ερώτηση 3: Με τη πειραματική διάταξη για την περίθλαση μέσω της διπλής σχισμής, παρατηρήσαμε ένα σχέδιο το οποίο όχι μόνο υποδεικνύει την κυματική φύση του φωτός αλλά μας επιτρέπει επίσης να υπολογίσουμε το μήκος κύματος του φωτός στον αέρα.

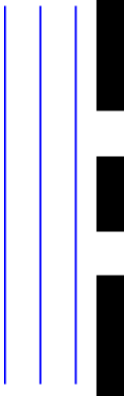


α. Εξήγησε πως το πείραμα της διπλής σχισμής υποστηρίζει την ύπαρξη της κυματικής φύσης του φωτός σε αντίθεση με την ύπαρξη της σωματιδιακής του φύσης.

γ. Περιέγραψε πως χρησιμοποιείται η εικόνα περίθλασης μέσω της διπλής σχισμής για τον υπολογισμό του μήκους κύματος της ακτινοβολίας (ή του φωτονίου) στον αέρα.



Ερώτηση 4: Συμπλήρωσε τα παρακάτω διαγράμματα έτσι ώστε να δείχνουν πως δημιουργείται η περίθλαση σε κάθε περίπτωση.



Ερώτηση 5:

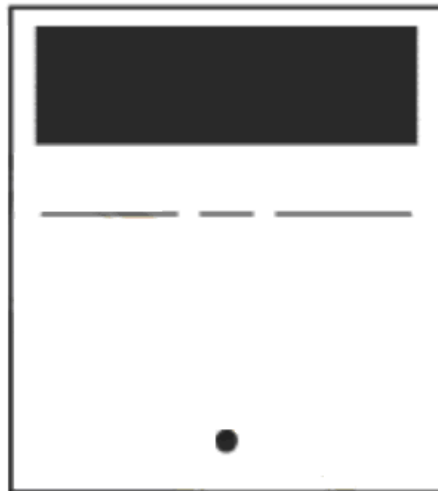
Σε ένα πείραμα τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν από την πηγή μέχρι την οθόνη ανίχνευσης διαμέσου ενός φράγματος διπλής σχισμής.

Σε ένα δεύτερο πείραμα το φως ταξιδεύει από την πηγή μέχρι την φωτογραφική πλάκα διαμέσου ενός φράγματος διπλής σχισμής.

Σε ένα τρίτο πείραμα μικρές σφαίρες ταξιδεύουν από την πηγή μέχρι ένα ανιχνευτή διαμέσου δυο σχισμών που είναι δίπλα – δίπλα.

Η εικόνα στα δεξιά αναπαριστά την πειραματική διάταξη, ενώ οι εικόνες παρακάτω παρουσιάζουν τα πιθανά σχέδια όπως αυτά ανιχνεύονται σε κάθε πείραμα.

Κάτοψη της πειραματικής διάταξης (όχι σε κλίμακα)



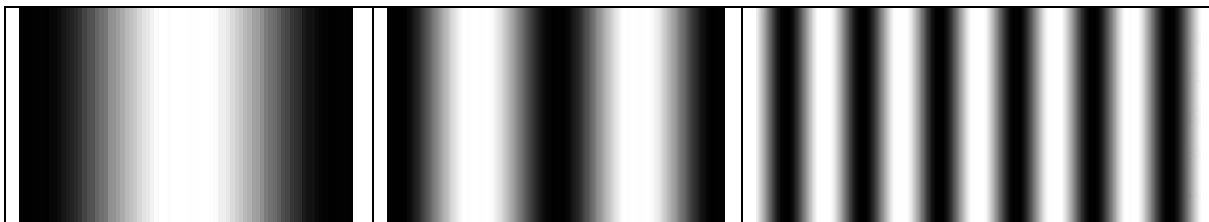


Πιθανά σχέδια (δεν είναι σχεδιασμένα σε κλίμακα)

A

B

Γ



Το A, το B και το Γ Α αναπαριστούν τις πιθανές εικόνες στο πέτασμα κάθε πειράματος. Αν θεωρείς ότι καμία από τις παραπάνω εικόνες δεν είναι κατάλληλη σημείωσε το Δ.

Ποια εικόνα περιμένεις να παρατηρήσεις όταν:

- ___ 1. φως περνά μέσα από το φράγμα της διπλής σχισμής;
- ___ 2. μικρές σφαίρες περνούν μέσα από το φράγμα της διπλής σχισμής;
- ___ 3. ηλεκτρόνια περνούν μέσα από το φράγμα της διπλής σχισμής;
- ___ 4. φως περνά μέσα από το φράγμα του οποίου η μια σχισμή έχει καλυφθεί.
- ___ 5. ηλεκτρόνια περνούν μέσα από το φράγμα του οποίου η μια σχισμή έχει καλυφθεί.

Ερώτηση 6:

Κάτω από ποιες συνθήκες τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν το φως; Να υποστηρίξεις την άποψή σου με στοιχεία.

Κάτω από ποιες συνθήκες η συμπεριφορά των ηλεκτρονίων διαφέρει από αυτή του φωτός; Να υποστηρίξεις την άποψή σου με στοιχεία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ!

Η ομάδα ανάπτυξης του Science Centre To Go

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

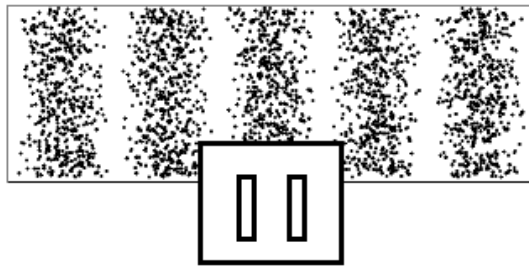


Αγαπητέ συνάδελφε,

Εδώ θα βρεις τις κατευθυντήριες γραμμές για την συνέντευξη σχετικά με το έκθεμα-μινιατούρα της Διπλής Σχισμής. Η συνέντευξη περιλαμβάνει δυο βασικές ερωτήσεις που θα μας βοηθήσουν να μελετήσουμε το βαθμό κατανόησης των μαθητών αναφορικά με το υπό εξέταση φαινόμενο συγκρίνοντας τη συνέπεια των απαντήσεών τους στα δυο ερωτήματα. Συγκρίνοντας τις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση (Α) με την επεξήγηση που δίνουν στο ερώτημα (Β) σχετικά με την θέση του ηλεκτρονίου μέσα στο άτομο ο εκπαιδευτικός μπορεί να καταλάβει αν οι μαθητές έχουν πράγματι αντιληφθεί σωστά το φαινόμενο. Είναι σημαντικό να κρατάτε σημειώσεις και να μας ενημερώσετε για τις εξηγήσεις των μαθητών στις απαντήσεις τους. Η διαδικασία υλοποίησης της δραστηριότητας στην τάξη περιγράφεται αναλυτικά στην εκπαιδευτική διαδρομή «Το πείραμα της διπλής σχισμής - Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός»

Α. Παρακαλούμε περιγράψτε το ακόλουθο πείραμα στους μαθητές.

Εκτοξεύουμε μια δέσμη φωτονίων η οποία διαπερνά ένα φράγμα διπλής σχισμής και καταλήγει σε ένα πέτασμα. Η δέσμη είναι τόσο ασθενής ώστε τα φωτόνια φθάνουν στο πέτασμα ένα – ένα. Παρόλα αυτά, μετά από αρκετή ώρα εμφανίζεται μια εικόνα συμβολής όπως φαίνεται στο σχήμα στα δεξιά.



Παρακαλούμε ρωτήστε το μαθητή: Τι μπορείς να πεις σχετικά με το από ποια σχισμή πέρασε κάθε φωτόνιο;

Α. Κάθε φωτόνιο περνά είτε από την δεξιά είτε από την αριστερή σχισμή. Αν είχαμε ένα πολύ καλό ανιχνευτή θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε από ποια ακριβώς σχισμή περνά χωρίς να μεταβληθεί η εικόνα συμβολής.

Β. Κάθε φωτόνιο περνά είτε από την δεξιά είτε από την αριστερή σχισμή, αλλά είναι εξ'ορισμού αδύνατο να προσδιορίσουμε από ποια σχισμή συγκεκριμένα.

Γ. Κάθε φωτόνιο περνά και από τις δυο σχισμές. Αν είχαμε ένα πολύ καλό ανιχνευτή θα μετρούσαμε ένα φωτόνιο και στις δυο σχισμές ταυτόχρονα.

Δ. Κάθε φωτόνιο περνά και από τις δυο σχισμές. Αν είχαμε ένα πολύ καλό ανιχνευτή θα μπορούσαμε να δούμε ένα φωτόνιο να περνά από την αριστερή ή από την δεξιά σχισμή αλλά η μέτρηση αυτή θα κατέστρεφε την εικόνα συμβολής.

Ε. Είναι αδύνατον να προσδιορίσουμε αν ένα φωτόνιο πέρασε από μια ή και από τις δυο σχισμές.

Παρακαλούμε ζητήστε από τους μαθητές να δικαιολογήσουν την επιλογή τους. Στην περίπτωση που η επιλογή τους είναι το Δ παρακαλούμε ζητήστε να δικαιολογήσουν την πρόταση «η μέτρηση αυτή θα κατέστρεφε την εικόνα συμβολής». Παρακαλούμε καταγράψτε τις αιτιολογήσεις των μαθητών:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

B. Παρακαλούμε παρουσιάστε στους μαθητές τον ακόλουθο ισχυρισμό.

Ένα ηλεκτρόνιο μέσα στο άτομο του Υδρογόνου έχει καθορισμένη αλλά απροσδιόριστη θέση σε κάθε χρονική στιγμή.

Ζητήστε από τους μαθητές να επιλέξουν μια από τις παρακάτω απαντήσεις:

- Συμφωνώ απόλυτα*
- Συμφωνώ*
- Δεν είμαι σίγουρη/σίγουρος*
- Διαφωνώ*
- Διαφωνώ απόλυτα*

Παρακαλούμε ζητήστε από τους μαθητές να δικαιολογήσουν την επιλογή τους. Στην περίπτωση που κάποιος μαθητής/τρια διαφωνεί με την παραπάνω πρόταση και στο πρώτο μέρος επέλεξε ως σωστή απάντηση το Δ θα θέλαμε να τους ζητήσετε και περαιτέρω αιτιολόγηση. Παρακαλούμε καταγράψτε τις αιτιολογήσεις των μαθητών:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ!

Η ομάδα ανάπτυξης του Science Centre To Go

Αναφορές

¹ Osborne J. and Dillon J. (2008) Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation.

² SCIENCE, VOL 323, 2 JANUARY 2009, www.sciencemag.org

³ <http://www.pisa.oecd.org/>

⁴ Bleichroth Wolfgang et al. (1991) *Fachdidaktik Physik*. Aulis Verlag Deubner, Köln

⁵ Wagenschein Martin (1976). *Die pädagogische Dimension der Physik*. 4te Auflage, Westermann, Braunschweig

⁶ Rocard M. et al, EC High Level Group on Science Education (2007). Science Education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe, ISBN 978-92-79-05659-8

⁷ Nolte - Fischer Georg. (1987) *Bildung zum Laien. Zur Soziologie des schulischen Fachunterrichts*. Deutscher Studien Verlag, Marburg

⁸ Hewitt Paul (1983). *Millikan lecture 1982: The missing essential- a conceptual understanding of Physics*. American Journal of Physics, Vol.51, No.4, pp.305-311

⁹ Weisskopf Victor (1976). *Is Physics human?* Physics Education, Vol.11, pp.75-79

¹⁰ Kranzer Walter (1990). *So interessant ist Physik*. 2te Auflage, Aulis Verlag Deubner, Köln

¹¹ Haase Konrad (1985), Lehmann **Dietmar**. *Nanos Physik Abenteuer*. Aulis Verlag Deubner, Köln

¹² Epstein Lewis (1989). *Epsteins Physikstunde*. 2te Auflage, Birkhäuser, Basel

¹³ Rodger W. Bybee, Leslie W. Trowbridge, Janet Carlson Powell: Teaching Secondary School Science: Strategies for Developing Scientific Literacy 2008 (9th Edition). ISBN -13: 978-0-13-230450-4.

¹⁴ Ormerod Milton (1987). *Ein Modell, das die Beziehungen zwischen kognitiven und affektiven Lernzielen im naturwissenschaftlichen Unterricht verdeutlichen soll*. In Lehrke M., Hoffmann L. (Hrsg.): Schülerinteressen am naturwissenschaftlichen Unterricht, Aulis Verlag Deubner, Köln, pp.85-95

¹⁵ Σταύρος Σάββας (1996) Το ερευνητικά εξελισσόμενο μοντέλο στη διδασκαλία της Φυσικής με ιδιοκατασκευές και πειράματα με απλά μέσα. Πρόταση εφαρμογής για το δημοτικό σχολείο, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα

¹⁶ Kali, Y., & Linn, M. (2009). Designing Coherent Science Education: Implications from Curriculum, Instruction, and Policy. Teachers College Press.

-
- ¹⁷ Appleton Ken. (1995) *Student teacher's confidence to teach science: is more science knowledge necessary to improve self confidence*. International Journal of Science Education, Vol.17, No.3, pp.357-369
- ¹⁸ Jane Johnston and Maija Ahtee (2006) Comparing primary student teachers' attitudes, subject knowledge and pedagogical content knowledge needs in a physics activity *Teaching and Teacher Education, Volume 22, Issue 4, May 2006, Pages 503-512*
- ¹⁹ Gunstone, R. (2009) Peter Fensham - head, heart and hands (on) in the service of science education and social equity and justice. Cultural Studies of Science Education, 4, 303-314.
- ²⁰ Aikenhead, G. (2005). *Science for everyday life: Evidence-based practice*. New York: Teachers College Press.
- ²¹ Jenkins, E. W. & Pell, R. G. (2006). *The Relevance of Science Education Project (ROSE) in England: a summary of findings*. Leeds: Centre for Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- ²² Lyons, T. (2006). Different countries, Same science classes: Students' experiences in their own words, *International Journal of Science Education*, 28(6) 591–613.
- ²³ <http://www.uv.uio.no/ils/english/research/projects/rose/>
- ²⁴ Zohar, A. & Sela, D. (2003). Her physics, his physics: gender issues in Israeli advanced placement physics classes. *International Journal of Science Education*, 25, 245-268
- ²⁵ Todt Eberhard (1993). *Schülerempfehlungen für einen interessanten Physikunterricht*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Vol.4, No. 17, pp. 197-198 Fortsetzung in Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Vol.4, No. 18, pp.117-121
- ²⁶ Ronald D. Anderson (2002) Reforming Science Teaching: What Research Says About Inquiry *Journal of Science Teacher Education* Volume 13, Number 1, 1-12, DOI: 10.1023/A:1015171124982
- ²⁷ Hounsell, D. and McCune, V. (2003). 'Students' experiences of learning to present'. In: Rust, C., ed.. *Improving Student Learning Theory and Practice – Ten Years On*. (Proceedings of the Tenth International Symposium on Improving Student Learning, Brussels, September 2002. Oxford: CSLD. pp. 109-118.
- ²⁸ Jo Handelsman, Diane Ebert-May , Robert Beichner , Peter Bruns , Amy Chang , Robert DeHaan, Jim Gentile , Sarah Lauffer , James Stewart , Shirley M. Tilghman, and William B. Wood *Scientific Teaching Science* 23 April 2004: Vol. 304 no. 5670 pp. 521-522 DOI: 10.1126/science.1096022
- ²⁹ Leach, JT; Scott, PH (2008) Teaching for conceptual understanding: An approach drawing on individual and sociocultural perspectives. In: Vosniadou, S ed. *International Handbook of Research on Conceptual Change*, New York London: Routledge, pp. 647-675.
- ³⁰ Meheut M. & Psillos D. (2004). Teaching-Learning Sequences: Aims and Tools for Science Education, *International Journal of Science Education*, 26(5).
- ³¹ Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) <http://nces.ed.gov/timss/>

-
- ³² Guidoni Paolo (1985). *On natural thinking*. European Journal of Science Education. Vol.7, No.2, pp.133-140
- ³³ Nachtigall Dieter (1990). *Aspekte der Physikdidaktik. Seminarserie Humboldt Universität*. Universität Dortmund, Institut für Didaktik der Physik, Dortmund.
- ³⁴ Nachtigall Dieter (1992). *Physikdidaktik im Aus- und Inland*. Vorträge Physikertagung 1992, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Fachverband Didaktik der Physik, Berlin, pp.8-33
- ³⁵ Nachtigall Dieter (1986). *Vorstellungen im Bereich der Mechanik*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, Vol.34, No.13, pp.114-118
- ³⁶ Monk, M. & Osborne, J. (eds.) (2000) *Good Practice in Science Teaching: what research has to say* Buckingham: Open University Press
- ³⁷ Vosniadou, S. (2001) *How Children Learn*, Educational Practices Series, 7, The International Academy of Education (IAE) and the International Bureau of Education (UNESCO). Μετάφραση στα Ελληνικά *Πως Μαθαίνουν οι Μαθητές*, Σειρά Ψυχολογίας, Εκδόσεις Gutenberg (2002)
- ³⁸ Strike, A. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. J. Hamilton (Ed.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). New York: State University of New York Press.
- ³⁹ Duit, R. (2004). *Bibliography: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education Database*. University of Kiel, Kiel, Germany. <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>. (accessed 1 March 2011).
- ⁴⁰ Duit, R., and Treagust, D.P. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *Int. J. Sci. Educ.* 25(6),671 -688.
- ⁴¹ Nachtigall Dieter (1991). *Krise des Physikunterrichts! Was tun? Fünf Thesen zu einem aktuellen Thema*. Universität Dortmund, Institut für Didaktik der Physik, Dortmund
- ⁴² Jung Walter (1980), Wiesner Helmut. *Wie wenden Schüler Physik an zur Erklärung alltäglicher Erscheinungen? Untersuchung am Beispiel der klassischen Mechanik*. *Physica Didactica*, Vol.7, pp.147-163
- ⁴³ Nachtigall Dieter (1982). *Vorstellungen von Fünftkläßern über den freien Fall*. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Vol.30, No.3, pp.91-97
- ⁴⁴ Duit Reinders (1986). *Wärmevorstellungen*. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Vol.34, No.13, pp.128-131
- ⁴⁵ Wiesner Hartmut (1986). *Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik*. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, Vol.34, No.13, pp.123-127
- ⁴⁶ Nachtigall Dieter (1987). *Skizzen zur Physikdidaktik*. Lang, Frankfurt

-
- ⁴⁷ Boyle Rosemary and Maloney David (1991). *Effect of Written Text on Usage of Newton's Third Law Rule*. Journal of Research in Science Teaching, Vol.28, No.2, pp.123-139
- ⁴⁸ Duit Reinders (1993). *Schülervorstellungen - Von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Vol.4, No. 16, pp.4-10
- ⁴⁹ Mohapatra J. and Parida B. (1995) *The location of alternative conceptions by a concept graph technique*. International Journal of Science Education, Vol.17, No.5, pp.663-681
- ⁵⁰ Ravanis, K. Koliopoulos, D. Hadzigeorgiou, Y. (2004). What factors does friction depend on? A socio-cognitive teaching intervention with young children International Journal of Science Education, 26(8), 997-1007
- ⁵¹ Anderson, L.W., & Krathwohl (Eds.). (2001). *Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- ⁵² Pintrich, Paul R. (2003) A Motivational Science Perspective on the Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts. Journal of Educational Psychology, Vol 95(4), Dec 2003, 667-686.
- ⁵³ Slavin Robert (1986). *Educational Psychology. Theory into Practice*. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.
- ⁵⁴ Stone David (1992), Nielsen Elwin. *Educational Psychology. The Development of Teaching Skills*. Harper & Row Publ., New York
- ⁵⁵ Woolfolk Anita (1987). *Educational Psychology*. 3rd Edition, Prentice Hall, Engelwood Cliffs
- ⁵⁶ Duit Reinders, Häußler Peter, Kircher Ernst (1981). *Unterricht Physik, Materialien zur Unterrichtsvorbereitung*. Aulis Verlag Deubner, Köln
- ⁵⁷ Berge Otto-Ernst (1993). *Offene Lernformen im Physikunterricht der Sekundarstufe I*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Vol.4, No.17, pp.4-11
- ⁵⁸ Wallrabenstein Wulf (1992). *Offene Schule - Offener Unterricht*. Rowohlt, Hamburg
- ⁵⁹ Ramseger Jörg (1992). *Offener Unterricht in der Erprobung*. 3te Auflage, Juventa, München
- ⁶⁰ Schmidkunz Heinz, Lindemann Helmut (1992). *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Westarp Wissenschaften, Essen
- ⁶¹ Hofstein A. and Lunetta V.N., (2004), The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research, *Review of Educational Research*, **52**, 201-217.
- ⁶² Bybee, R. W. (2000). Teaching science as inquiry. In van Zee, E. H. (Ed.), *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching Science* (pp. 20–46). Washington, DC: AAAS.
- ⁶³ Bell, P. L., Hoadley, C., & Linn, M. C. (2004). Design-based research as educational inquiry. In M. C. Linn, E. A. Davis & P. L. Bell (Eds.), *Internet environments for science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates

⁶⁴ Hounsell, D. & McCune, V. (2003). 'Students' experiences of learning to present'. In C. Rust (ed.). *Improving Student Learning Theory and Practice – Ten Years On*. Proceedings of the Tenth International Symposium on Improving Student Learning, Brussels, September 2002. (pp 109-118). Oxford: CSLD.

⁶⁵ Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, pp 474–496.

⁶⁶ Linn, M.C., Davis E.A. & Bell, P.L. (2004) Inquiry and Technology. In M.C. Linn, E.A. Davis & P.L. Bell (Eds.), *Internet environments for science education*. (pp 3-27). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

⁶⁷ Tamir, P. (1985). Content analysis focusing on inquiry. *Journal of Curriculum Studies*, 17(1), pp 87-94.

⁶⁸ Schwab, J.J. (1962). The teaching of science as inquiry. In Brandwein, P.F. (Ed.), *The Teaching of Science*. Cambridge: Harvard University Press.

⁶⁹ Kinchin, I. M. (2004). Investigating students' beliefs about their preferred role as learners. *Educational Research*, 46 (3), 301-312.

⁷⁰ Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Gonzalez, E. J., & Chrostowski, S. J. (2004). *TIMSS 2003 International science report*. Boston, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch School of Education, Boston College.

⁷¹ http://www.ypepth.gr/docs/neo_sxoleio_brochure_100305.pdf

⁷² M. Orfanakis, G. Babalis, M. Apostolakis, V. Tolia and S. Sotiriou, *et al.* The Project “Lab of Tomorrow” Designing and developing the school science laboratory of the future Technology Enhanced Learning IFIP International Federation for Information Processing, 2005, Volume 171/2005, 83-93, DOI: 10.1007/0-387-24047-0_7

⁷³ Sotiriou, S., Anastopoulou S., Rosenfeld, S., Aharoni, O., Hofstein, A., Bogner, F., Sturm, H., Hoeksema, K. (2006). Visualizing the invisible: The CONNECT approach for teaching science. In *The 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006)*, July 5-7, 2006, Kerkrade, The Netherlands.

⁷⁴ Buchholz & Wetzel (2009). Introducing science Centre TOGO - A Mixed Reality Learning Environment for Everyone's Pocket; IADIS International Conference Mobile Learning 2009 (pp. 104-110), Barcelona, Spain 2009

⁷⁵ Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Herbst, I., Wittkämper, M., and Novotny, T.: An Infrastructure for Realizing Custom-Tailored Augmented Reality User Interfaces, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11 (6), Nov. 2005, 722-733.

-
- ⁷⁶ Wagner, D. and Schmalstieg, D.: ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices. Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop (CVWW'07), February 2007
- ⁷⁷ Kato, H. and Billinghurst, M. 1999. Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. In Proceedings of the 2nd IEEE and ACM international Workshop on Augmented Reality (October 20 - 21, 1999). IWAR. IEEE Computer Society, Washington, DC, 8
- ⁷⁸ Feynman Richard, Leighton Robert, Sands Matthew. *The Feynman Lectures on Physics*. 6th reprint, Addison - Wesley Publ., Reading MA
- ⁷⁹ Baumert, J., Lehmann, R. et al. (1997). TIMSS – mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Opladen: Leske&Budrich.
- ⁸⁰ Martin, M.O., Mullis, I.V.S., & Foy, P. (with Olson, J.F., Erberber, E., Preuschoff, C., & Galia, J.). (2008). TIMSS 2007 International Science Report: Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth Grades Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- ⁸¹ Eraut, M. (2000) 'Non-formal learning, implicit learning and tacit knowledge in professional work' in F. Coffield, *The Necessity of Informal Learning*, Bristol: The Policy Press.
- ⁸² ESCITE Directors Forum, Athens, 7-8 May (2003), Bridging the gap between Formal and Informal Science.
- ⁸³ Fitzpatrick. G. and Stringer M. "*Exploring technology influences between home, work, school: implications for managing ubiquitous technologies in the home*", 2007 (διαθέσιμο στο <http://www.informatics.sussex.ac.uk/research/groups/interact/publications.htm>)
- ⁸⁴ Koulaidis, V. (2003), ECSITE Directors' Forum, Athens 7-8, 2003, Education systems (formal and informal)-Benchmarking the promotion of RTD culture and public understanding of science.
- ⁸⁵ Owston R. "*Contextual factors that sustain innovative pedagogical practice using technology: an international study*", J Educ Change, DOI 10.1007/s10833-006-9006-6, 2006
- ⁸⁶ Falk, J.H. (2001). Free-choice science learning: Framing the discussion. In: J.H. Falk (Ed.). *Free-choice science education: How we learn science outside of school*, pp. 1-20. New York: Teachers College Press.
- ⁸⁷ Salmi, H. (2003). Science centres as learning laboratories: experiences of Heureka, the Finnish science centre. *International Journal of Technology Management*. Vol. 25, No. 5, pp.460-476.
- ⁸⁸ Marilyn Fenichel and Heidi A. Schweingruber (2010) *Surrounded by Science: Learning Science in Informal Environments*, The National Academies Press, ISBN-10: 0-309-13674-1
- ⁸⁹ Arvanitis T., Gargalakos M., Knight J. K., Gialouri E., Petrou A., Savas S., Sotiriou S., (2007) Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities *Pers Ubiquit Comput*, DOI 10.1007/s00779-007-0187-7
- ⁹⁰ Sotiriou, S. and Bogner, F. (2008) Visualizing the Invisible: Augmented Reality as an Innovative Science Education Scheme, *Advanced Science Letters*, Vol. 1, 1–9, 2008

-
- ⁹¹ McDermott, L.C. and Redish, E.F. (1999). Resource letter: PER-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
- ⁹² E.L. Desi and R.M. Ryan, Eds., (1985) *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*, Publisher: Plenum Press, New York,
- ⁹³ Brown, J.: (1991) *The Laboratory of the Mind. Thought Experiments in the Natural Sciences* Routledge, London.
- ⁹⁴ Sorensen, R.: (1992) *Thought Experiments*, Oxford University Press, New York and London.
- ⁹⁵ Kuhn, T. (1977): A function of thought experiments. In T. Kuhn: *The Essential Tension Selected studies in scientific tradition and change*, Chicago University Press, 240-265.
- ⁹⁶ Popper, K.: (1999) On the use of imaginary experiments especially in quantum theory, in K. Popper *The logic of scientific discovery*, Routledge, New York-London, 442-456.
- ⁹⁷ Mach, E.: (1896/1976) On thought experiment in E. Mach *Knowledge and Error* (translation 1926 by Cormack T. and Foulkes P.) (Dordrecht: Reidel, 1976), 134-147.
- ⁹⁸ Koyre, A.: (1968) *Metaphysics and measurement*, Chapman & Hall, London.
- ⁹⁹ Helm, H., Gilbert, J., Watts, D.M.: (1985) Thought experiments and physics education-Part 2. *Physics Education*, 20, 211-17.
- ¹⁰⁰ Fischler, H., Lichtfeldt, M.: (1992) Modern physics and students' conceptions, *International Journal Science Education* 14(2), 181-190.
- ¹⁰¹ Johnston, I., Crawford, K., Fletcher, P.: (1998) Students difficulties in learning quantum mechanics, *International Journal Science Education* 20(4), 427-446.
- ¹⁰² Matthews, M.: (1994) Thought experiments in M. Matthews *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, New York-London, 99-105
- ¹⁰³ Gilbert, J. and Reiner, M.: (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization, *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283
- ¹⁰⁴ Reiner, M.: (1998). Thought Experiments and Collaborative Learning in Physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043-58.
- ¹⁰⁵ Mustafa Sabri Kocakulah, Mehmet Kural (2010) Investigation of conceptual change about double-slit interference in secondary school physics *International Journal of Environmental & Science Education* Vol. 5, No. 4, October 2010, 435-460.
- ¹⁰⁶ C. Baily and N. D. Finkelstein, Development of quantum perspectives in modern physics, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **5**, 010106 2009.
- ¹⁰⁷ E. Cataloglu and R. Robinett, Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career, *Am. J. Phys.* **70**, 238 2002.
- ¹⁰⁸ C. Singh, Student understanding of quantum mechanics, *Am. J. Phys.* **69**, 885 2001.

-
- ¹⁰⁹ C. Singh, Assessing and improving student understanding of quantum mechanics, AIP Conf. Proc. **818**, 69 2006.
- ¹¹⁰ J. Falk, Master thesis, Uppsala University, 2005.
- ¹¹¹ S. B. McKagan and C. E. Wieman, Exploring Student Understanding of Energy Through the Quantum Mechanics Conceptual Survey, PERC Proceedings 2005 AIP, Melville, NY, 2006.
- ¹¹² S. Goldhaber, S. Pollock, M. Dubson, P. Beale, and K. Perkins, *Transforming Upper-Division Quantum Mechanics: Learning Goals and Assessment*, PERC Proceedings 2009 AIP, Melville, NY, 2009.
- ¹¹³ S. Wuttiptom, M. D. Sharma, I. D. Johnston, R. Chitaree, and C. Soankwan, Development and Use of a Conceptual Survey in Introductory Quantum Physics, Int. J. Sci. Educ. **31**, 631 2009.
- ¹¹⁴ E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual* Prentice Hall, New York, NY, 1997.
- ¹¹⁵ Charles Baily and Noah D. Finkelstein Teaching and understanding of quantum interpretations in modern physics courses Phys. Rev. St Phys. Educ. Res. **6**, 010101 2010
- ¹¹⁶ <http://www.hitachi.com/rd/research/em/doubleslit.html>

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΤΙΤΛΟΣ ΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΕΛΠΙΔΑ ΓΙΑΛΟΥΡΗ

ΔΙΔΑΚΤΩΡ

1. ΜΟΡΦΩΣΗ – ΠΡΟΣΟΝΤΑ - ΕΜΠΕΙΡΙΑ**Σπουδές**

2006-2011. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Διδακτορικό Δίπλωμα με τίτλο «Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες με τη χρήση Προηγμένων Τεχνολογικών Εφαρμογών» με "Άριστα".

1988-1993. Πανεπιστήμιο Αθηνών. Φυσικό Τμήμα της Σχολής Θετικών Επιστημών. Πτυχίο Φυσικού με γενικό βαθμό 7,35, "Λίαν Καλώς".

Εργασίες κατά την περίοδο των σπουδών στο Πανεπιστήμιο:

1. "Συμπιεστό Ρευστό" στα πλαίσια του μαθήματος της Ρευστομηχανικής.

2. "Εξισώσεις Navier-Stokes" στα πλαίσια του μαθήματος της Μηχανικής των Συνεχών Μέσων.

Ιούνιος 1992- Ιούνιος 1993

Εκπόνηση Διπλωματικής Εργασίας με τίτλο: "Χρωμοσωμικές αλλοιώσεις από ιονίζουσες ακτινοβολίες και εκτίμηση απορροφούμενων δόσεων".

Επιβλέποντες Καθηγητές: Φ. Χατζηϊωάννου, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών, Γ. Παντελιάς, Ερευνητής Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ".

Ξένες Γλώσσες

Πολύ καλή γνώση της Αγγλικής (Πτυχίο First Certificate In English, Cambridge).

Επαγγελματική – Διδακτική Εμπειρία

1996-σήμερα: Καθηγήτρια Φυσικής στα "**Εκπαιδευτήρια Γιαννοπούλου**". Υπεύθυνη για την ανάπτυξη, οργάνωση και λειτουργία του Εργαστηρίου Φυσικής των Εκπαιδευτηρίων. Σε συνεργασία με το Εργαστήριο Πληροφορικής των Εκπαιδευτηρίων έχει σχεδιάσει πρότυπες Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής της Α' Λυκείου που υλοποιούνται στο περιβάλλον του λογισμικού-προγράμματος "Interactive Physics".

1996-1998: Καθηγήτρια Φυσικής - Χημείας στα "**Φροντιστήρια Θαλής**". Διεύθυνση: Δ. Μιχαλόπουλος, Σ. Θεανόπουλος.

1993-1995: Καθηγήτρια Φυσικής - Χημείας στα "**Φροντιστήρια Αττικής**". Διεύθυνση: Ι. Θεοφιλόπουλος.

1993-1994: Καθηγήτρια στη Σχολή Τουριστικών Επαγγελμάτων στο Τμήμα Μετεκπαίδευσης.

Ερευνητική Δραστηριότητα**Ιούνιος 2006 – σήμερα**

Υποψήφια διδάκτωρ του ΕΜΠ (Εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών). Η ερευνητική της εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη προηγμένων εφαρμογών και εργαλείων για την κατανόηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων από μαθητές της β' βάθμιας εκπαίδευσης.

Οκτώβριος 2001 – σήμερα

Επιστημονικός συνεργάτης στο Εργαστήριο Πληροφορικής, Παιδαγωγικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αιγαίου όπου εργάζεται για την ανάπτυξη πιλοτικών προγραμμάτων για την

- Εισαγωγή της Ανοικτής και Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης (ΑΕΕ) και των Τεχνολογιών Πληροφόρησης και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) στη διδακτική μεθοδολογία
- Εισαγωγή της Επιστημονικής Μεθοδολογίας στη διδακτική πρακτική των Φυσικών Επιστημών
- Ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού για Εξ αποστάσεως εκπαίδευση και κατάρτιση,
- Αρχική και δια βίου κατάρτιση και επιμόρφωση φοιτητών και εκπαιδευτικών στη χρήση των ΤΠΕ στη διδακτική πρακτική

Συμμετοχή σε μεγάλο αριθμό ερευνητικών έργων στα πλαίσια Ευρωπαϊκών και Εθνικών προγραμμάτων ως εξωτερικός συνεργάτης του Πανεπιστημίου Αιγαίου και ως υποψήφια διδάκτωρ του ΕΜΠ/ΕΜΟΙ, όπως

- Έργο «Rural Wings» FP6-IP-516161/AERO-SPACE, υπεύθυνη ανάπτυξης εφαρμογών που θα χρησιμοποιηθούν για την εξ αποστάσεως κατάρτιση εκπαιδευτικών σε απομακρυσμένα σχολεία μέσω της δορυφορικής τεχνολογίας DVB-RCS. Το πρόγραμμα θα εφαρμοστεί σε 150 πιλοτικά σχολεία σε όλο τον κόσμο (2006-2009).
- Έργο «CONNECT», www.connect-project.org IST-507844 (Πρόγραμμα FP6-IST, Action Line “Technology Enhanced Learning”). Δημιουργία ενός Εικονικού Πάρκου Φυσικών επιστημών για τη διασύνδεση Επιστημονικών κέντρων και σχολείων με την εισαγωγή εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στη β’ βάρθμια εκπαίδευση. Δημιουργία εκπαιδευτικών διαδρομών ανάμεσα σε σχολεία και μουσεία μέσω της οπτικοποίησης φαινομένων και φυσικών παραμέτρων, (2003-2007)
- Έργο «Discovery Space» C517339/eTEN, www.discoveryspace.net. Δημιουργία ενός δικτύου ρομποτικών τηλεσκοπίων για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Υπεύθυνη του σχεδιασμού των σεναρίων εφαρμογής για τις τάξεις του Λυκείου (2005-2007).
- Έργο NEMED (Network on Multigrade Education), Ανάπτυξη ενός portal με στόχο την κατάρτιση εκπαιδευτικών που εργάζονται σε απομακρυσμένα σχολεία. Στα πλαίσια του έργου είναι υπεύθυνη για την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων των εκπαιδευτικών, παρατηρήσεις πεδίου και για το σχεδιασμό υλικού που αφορά στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες. www.nemed-network.org (Πρόγραμμα SOCRATES, Δράση COMENIUS 3), (2004-2007).
- Έργο «PENCIL» (Permanent European Resource Centre for Informal Learning), www.xplora.org FP6-511165/SCIENCE AND SOCIETY. Συνδέει 14 επιστημονικά κέντρα και μουσεία με σχολεία, μαθητές, συλλόγους εκπαιδευτικών, ερευνητικά εργαστήρια, εκπαιδευτικούς φορείς, καθώς και ειδικούς στην εκπαίδευση και στην επικοινωνία των Φυσικών Επιστημών. Κύριο παραδοτέο του έργου PENCIL είναι η ευρωπαϊκή δικτυακή πύλη για την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες που αποτελεί αναφορά για αυτές τις πρωτοποριακές πρακτικές διδασκαλίας συμπεριλαμβανομένων και των εκπαιδευτικών εργαλείων που αναπτύσσονται (2004-2007).
- Έργο ΔΙΑΣ (Δορυφορικός Ιστός Απομακρυσμένων Σχολείων). Στα πλαίσια του προγράμματος 10 ολιγοθέσια σχολεία της Ελληνικής Επικράτειας διασυνδέθηκαν μέσω του δορυφόρου HELLAS SAT. Οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές ενεπλάκησαν σε εκπαιδευτικά σεναρία που χωρίς την ευρυζωνική πρόσβαση δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν. Το έργο ΔΙΑΣ συγχρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης, στο πλαίσιο του Συντονισμένου Προγράμματος Ηλεκτρονική Μάθηση του Μέτρου 3.3 του Επιχειρησιακού Προγράμματος Κοινωνία της Πληροφορίας (Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006). www.dias.ea.gr.
- Έργο WebTV for schools (Διαθεματική προσέγγιση στην εισαγωγή των ΤΠΕ στην εκπαίδευση μέσω της ανάπτυξης εκπαιδευτικής πλατφόρμας καταμεμημένης μάθησης για τη β’ βάρθμια εκπαίδευση που λειτουργεί ως τηλεοπτικό κανάλι που δίνει την ευκαιρία στους μαθητές να παρουσιάσουν τις δραστηριότητές τους, εκπαιδευτικές, κοινωνικές, αθλητικές, πολιτιστικές στους συμμαθητές τους σε άλλες χώρες), www.ellinogermaniki.gr/ep/webtv, (Πρόγραμμα SOCRATES, Δράση MINERVA), (2002-2004)
- Έργο «Εισαγωγή της Πειραματικής Ερευνητικής Διαδικασίας στο Λύκειο» (Μεθοδολογία Ανάλυσης Πειραματικών Δεδομένων σε Θεμελιώδεις Φυσικές Έννοιες και Νόμους – Η ερευνητική διαδικασία και η παραγωγή νέας γνώσης στις Φυσικές Επιστήμες ως πηγή συνεχούς ανανέωσης του περιεχομένου και της Διδακτικής μεθοδολογίας Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης), (Πρόγραμμα Σχολεία Εφαρμογής Πιλοτικών Προγραμμάτων Εκπαίδευσης, ΣΕΠΠΕ, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο), Συντονιστής Ινστιτούτο Πυρηνικής Φυσικής, ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», (1999-2000).

Μέλος Επαγγελματικών και άλλων ενώσεων

Μέλος της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών (Σύμβουλος εκπαιδευτικών θεμάτων β’ βάρθμιας εκπαίδευσης)

2. ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ (ενδεικτικά)

ΘΕΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ	ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ	ΗΜ/ΝΑΙ	ΩΡΕΣ	ΤΟΠΟΣ
"Προγραμματισμός σε περιβάλλον MS-DOS και UNIX". Το σεμινάριο εκτός των άλλων περιλαμβάνει: αρχές	Επιμορφωτές της Control Data	1993 - 1994	480 ώρες	Control Data

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ Ε.Μ.Π.

ΑΡΧΕΙΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

ΓΕ 05-2

μηχανογραφικής επεξεργασίας στοιχείων, αρχές των MS-DOS και UNIX, WINDOWS 3.1, γλώσσα COBOL (Microfocus/Unix), TURBO PASCAL, dBASE III PLUS και CLIPPER.				
"UNIX (Επίπεδα I και II). Βάσεις Δεδομένων" . Το σεμινάριο μεταξύ των άλλων περιλαμβάνει: Βασικές οδηγίες για τον χρήστη του UNIX (Επίπεδο I), οδηγίες για τον SYSTEM ADMINISTRATOR και εγκατάσταση, συντήρηση δικτύων στο UNIX (Επίπεδο II), συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, ORACLE/SQL, INGRES/SQL.	Επιμορφωτές ΕΜΠ	1994	150 ώρες	Κέντρο Συνεχιζόμενης Εκπαίδευσης -ΕΜΠ
"Τεχνολογίες Πολυμέσων (Multimedia) και εφαρμογές τους στη Εκπαίδευση" . Το σεμινάριο μεταξύ άλλων περιλαμβάνει: Προγράμματα σχεδίασης εφαρμογής πολυμέσων, πρόγραμμα σχεδίασης TOOLBOOK, μεθοδολογία σχεδίασης εκπαιδευτικού λογισμικού, εφαρμογές τεχνολογιών πολυμέσων και πολλαπλών μέσων στη διδακτική πράξη, υποδειγματική διδασκαλία σε σχολείο.	Επιμορφωτές Γενικής Γραμματείας Νέας Γενιάς	1995	350	Γενική Γραμματεία Νέας Γενιάς
"Υποδοχή και τον Τρόπο Εφαρμογής των Εκπαιδευτικών Αλλαγών" (Σεμινάριο)	Επιστήμονες στο χώρο της εκπαίδευσης	1997 - 1998	77 ώρες	1 ^ο ΠΕΚ Αθήνας
"Μελέτη της Βιοποικιλότητας των Αστικών Περιοχών" . Το σεμινάριο εκτός από το θεωρητικό μέρος περιελάμβανε και πρακτική εξάσκηση με επεξεργασία δεδομένων.	Επιστήμονες σε θέματα βιοποικιλότητας	1998	10 ώρες	Τμήμα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης της Δ' Διεύθυνσης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Αθήνας
"Συμβουλευτική Γονέων" (Διάρκεια 40 ωρών). Το σεμινάριο πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Συμβουλευτική Γονέων II» του ΕΠΕΑΕΚ II (Μέτρο 2.4, Ενέργεια 2.4.3, Πράξη 2.4.3.ε)	Επιστήμονες στο χώρο της παιδοψυχολογίας	2005	40 ώρες	Ινστιτούτο Διαρκούς Εκπαίδευσης Ενηλίκων της Γενικής Γραμματείας Εκπαίδευσης Ενηλίκων του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

3. Δημοσιεύσεις

Ελπίδα Γιαλούρη, Παύλος Κουλούρης, Σοφοκλής Σωτηρίου, Κώστας Τσολακίδης (2004) «*ΔΙΑΣ-Δορυφορικός Ιστός Απομακρυσμένων Σχολείων. Επιμόρφωση Εκπαιδευτικών Ολιγοθέσιων Σχολείων*», Οδηγός Επιμόρφωσης, Εκδόσεις ΕΠΙΝΟΙΑ, ISBN No. 960-8339-77-4

Theodoros N. Arvanitis, Argeroula Petrou, James F. Knight, Stavros Savas, Sofoklis Sotiriou, Michael Gargalakos, Elpida Gialouri. *Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities Pers Ubiquit Comput* (2009) 13:243–250 DOI 10.1007/s00779-007-0187-7

Gialouri Elpida, Nikolaos Uzunoglou, Michael Gargalakos, Sofoklis Sotiriou & Franz X. Bogner, *Teaching Real-Life Science in the Lab of Tomorrow*, *Advanced Science Letters*, Vol. 4, 3317-3323, 2011

Gargalakos, M., Gialouri, E., Lazoudis, A., Sotiriou, S. & Bogner, F. X, *Assessing the Impact of Technology-enhanced Field Trips in Science Centers and Museums*, *Advanced Science Letters* Vol. 4, 3332-3341, 2011