Εφαρμογή Διδακτικής Ενότητας σε θέματα Νανοτεχνολογίας

Βελέντζας Αθανάσιος[1], Δημητριάδη Κυριακή[2], Μανδρίκας Αχιλλέας[3], Μαργαρίτης Αντώνης[4], Σάλτα Κατερίνα[5]

[1]Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών Αμπελοκήπων, avelentz@gmail.com
[2]Πειραματικό Γυμνάσιο Π.Κ. Ρεθύμνου, kdimitr@primedu.uoa.gr
[3]Σχολικός Σύμβουλος Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, amandrik@otenet.gr
[4]Πειραματικό Γενικό Λύκειο Ηρακλείου, amargariti@sch.gr
[5]2ο Πειραματικό Γενικό Λύκειο Αθηνών, ksalta@chem.uoa.gr

Περίληψη
Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μιας διδακτικής ενότητας με στόχο την επαφή των μαθητών με βασικές διαστάσεις της Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας μέσω της διδασκαλίας βασικών ιδεών και εφαρμογών της νανοτεχνολογίας. Η ενότητα αυτή δομήθηκε ως προϊόν συνεργασίας πέντε εκπαιδευτικών όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης, οι οποίοι συμμετείχαν σε μια "Κοινότητα Μάθησης" (Community of Learners) στο πλαίσιο του προγράμματος IRRESISTIBLE. Στην εργασία παρουσιάζονται τόσο η δομή της ενότητας όσο και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της σε μαθητές Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου. Συζητούνται, επίσης, χρήσιμα συμπεράσματα για την περαιτέρω εφαρμογή ενοτήτων νανοτεχνολογίας σε μαθητές διαφόρων ηλικιών.

Abstract
In this paper, the implementation of a teaching module about basic ideas and applications of nanotechnology taking into account main components of Responsible Research and Innovation (RRI) is presented. The module has been developed by a *Community of Learners* (CoL) established in the framework of the IRRESISTIBLE project. The structure of the module and also the results from the implementation in primary, lower secondary and upper secondary students are presented. Furthermore, some useful teaching implications for further implementation of nanotechnology issues in students of different ages are discussed.

Εισαγωγή

Η νανοτεχνολογία αποτελεί σήμερα πεδίο αρκετών εφαρμογών και αναπτύσσει δυνατότητες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι γνώσεις στον τομέα των νανοεπιστημών και οι βιομηχανικές εφαρμογές τους αυξήθηκαν σταδιακά τα τελευταία είκοσι χρόνια, με αποτέλεσμα να βρίσκονται στο επίκεντρο της προσοχής τόσο της επιστημονικής κοινότητας όσο και της ευρύτερης κοινωνίας. Η ανάγκη της κοινωνίας αφενός για κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό και αφετέρου για επιστημονικά εγγράμματους πολίτες καθιστά απαραίτητη την ενσωμάτωση της διδασκαλίας θεμάτων νανοτεχνολογίας στην εκπαίδευση, προφανώς όμως με την ανάπτυξη και χρήση κατάλληλου εκπαιδευτικού

υλικού (Laherto 2010). Η σημασία της διαπραγμάτευσης βασικών ιδεών της νανοεπιστήμης και της νανοτεχνολογίας στο πλαίσιο της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών έχει τονιστεί από πολλούς ερευνητές (Stevens et al. 2009, Hingant & Albe 2010). Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός προγραμμάτων και ερευνών σε σχέση με τη διδασκαλία της νανοτεχνολογίας (Μιχαηλίδη 2013). Οι έννοιες που αποτελούν τον πυρήνα της νανοτεχνολογίας και άρα βάση για κάθε προσπάθεια ένταξής της στην εκπαίδευση είναι: 1) το μέγεθος και η κλίμακα, 2) η δομή της ύλης, 3) οι ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος, 4) οι δυνάμεις και οι αλληλεπιδράσεις, 5) τα κβαντικά φαινόμενα, 6) η αυτο-οργάνωση, 7) τα εργαλεία, 8) τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις, 9) η σχέση νανοεπιστήμης, τεχνολογίας και κοινωνίας (Stevens et al. 2009). Η έννοια «κλειδί» που διαφοροποιεί την νανοτεχνολογία από άλλα προς διδασκαλία αντικείμενα είναι η αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών σωμάτων, όταν προσεγγίζουμε τη νανοκλίμακα. Η αλλαγή στο πηλίκο της επιφάνειας προς τον όγκο μπορεί να μεταβάλλει τον τρόπο με τον οποίο τα αντικείμενα λειτουργούν ή συμπεριφέρονται στη νανοκλίμακα κι αυτό εξηγεί φαινόμενα που μακροσκοπικά φαίνονται εντυπωσιακά ή περίεργα.
Μία εξίσου βασική διάσταση της διδακτικής ενότητας που αναπτύχθηκε αποτελεί η κατασκευή και επικοινωνία επιστημονικών εκθεμάτων από τους μαθητές. Η συζήτηση και η διερεύνηση στην οποία εμπλέκονται οι μαθητές υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού κατά την κατασκευή εκθεμάτων πάνω σε θέματα έρευνας αιχμής, όπως η νανοτεχνολογία και η νανοεπιστήμη, μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μάθησή τους σχετικά τόσο με το περιεχόμενο και τις διαδικασίες της επιστήμης όσο και με τις κοινωνικές της επιπτώσεις (Sadler 2004).

Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Η διδακτική ενότητα της νανοτεχνολογίας αναπτύχθηκε στο πλαίσιο μιας «Κοινότητας Μάθησης» (Community of Learners - CoL), όπως λειτούργησε στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Irresistible (http://www.irresistible-project.eu/), και στην οποία συμμετείχαν ερευνητές της διδακτικής φυσικών επιστημών, ερευνητές σε θέματα νανοτεχνολογίας από το Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ) στο Ηράκλειο Κρήτης, ειδικοί από κέντρα επιστημών (Ευγενίδειο Ίδρυμα και Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης) και πέντε εκπαιδευτικοί από Ρέθυμνο, Ηράκλειο και Αθήνα. Η διδακτική ενότητα εφαρμόστηκε σε πέντε σχολεία (2^{ο} Πειραματικό Λύκειο Αθηνών, Πειραματικό Λύκειο Ηρακλείου, 2^{ο} Πειραματικό Γυμνάσιο Αθηνών, Πειραματικό Γυμνάσιο Ρεθύμνου και 4^{ο} Δημοτικό Σχολείο Βούλας Αττικής).
Η ανάπτυξη της διδακτικής ενότητας στηρίχθηκε στις βασικές αρχές της διερεύνησης (inquiry-based learning) στις Φυσικές Επιστήμες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 5Ε του Bybee (2002) περιλαμβάνοντας τις φάσεις: Εμπλοκή (Engage), Εξερεύνηση (Explore), Επεξήγηση (Explain), Επεξεργασία (Elaborate) και Αξιολόγηση (Evaluation). Προστέθηκε μια ακόμα φάση: Ανταλλαγή (Exchange), που αφορά στην κατασκευή και επικοινωνία των εκθεμάτων. Οι μαθητές εργάζονταν σε ομάδες, συζητούσαν με τη διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού και συμπλήρωναν φύλλα εργασίας.

Η δομή της ενότητας

Τα δομικά χαρακτηριστικά της ενότητας ήταν κοινά για όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες. Ωστόσο, ανάλογα με την ηλικία, τις αντιληπτικές δυνατότητες και το γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών η διδακτική ενότητα διαφοροποιήθηκε ως προς το διδακτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε και ως προς το επίπεδο ερμηνείας των φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν οι ακόλουθες συναντήσεις:

1η συνάντηση: Έγινε εισαγωγή των μαθητών στο θέμα και πρόκληση του ενδιαφέροντός τους κυρίως με την επίδειξη υλικών και βίντεο που επικεντρώνονται σε εφαρμογές της νανοτεχνολογίας. Ακολούθησε συζήτηση σε σχέση με ό,τι τους προκάλεσε το ενδιαφέρον, καθώς και τις με σχετικές αντιλήψεις και προϋπάρχουσες γνώσεις τους για το θέμα.

2η συνάντηση: Πραγματοποιήθηκε επίσκεψη ή και τηλεδιάσκεψη των σχολείων με Μουσείο Φυσικών Επιστημών (Ευγενίδειο Ίδρυμα ή Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης) με στόχο την ενημέρωση των μαθητών στα βασικά χαρακτηριστικά των εκθεμάτων, που χρησιμεύουν για την επικοινωνία της επιστήμης με το ευρύ κοινό. Οι μαθητές είδαν μια ολοκληρωμένη διαδραστική έκθεση Επιστήμης και Τεχνολογίας είτε δια ζώσης είτε μέσω τηλεδιάσκεψης. Σε κάθε περίπτωση ειδικευμένο προσωπικό τους πληροφόρησε για τις μορφές των εκθεμάτων που θα κληθούν να δημιουργήσουν, για τις βασικές αρχές που χρειάζεται να λάβουν υπόψη στον σχεδιασμό, για τα κριτήρια στα οποία θα πρέπει να βασιστούν, για τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα εκθέματα ενός μουσείου.

3η συνάντηση: Έγιναν πρακτικές και πειραματικές δραστηριότητες με στόχο να συνειδητοποιήσουν οι μαθητές πόσο μικρά είναι τα μεγέθη του νανόκοσμου. Οι μαθητές κλήθηκαν να κόψουν διαδοχικά και πολλές φορές μια μετροταινία σε 10 κομμάτια, να μετρήσουν με νανοχάρακα, να κάνουν αναλογικές συγκρίσεις μεγεθών μεταξύ ορατών και αόρατων αντικειμένων και να διατάξουν αντικείμενα απεικονισμένα σε καρτέλες σε επίπεδο μακροκλίμακας, μικροκλίμακας και νανοκλίμακας. Επίσης, με τη βοήθεια της προσομοίωσης "The scale of the Universe" (http://htwins.net/scale2), κλήθηκαν να ελέγξουν την ορθότητα της διάταξης που είχαν κάνει προηγουμένως. Επιπλέον, οι μεγαλύτεροι μαθητές (Λυκείου) έκαναν πειράματα διαδοχικής αραίωσης έγχρωμων διαλυμάτων.

4η συνάντηση: Οι μαθητές επιδόθηκαν σε πειραματικές δραστηριότητες ώστε να αποκτήσουν ένα πλαίσιο ερμηνείας για τις αλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών στη νανοκλίμακα. Ο προβληματισμός τέθηκε μέσα από την προβολή σύντομων αποσπασμάτων βίντεο, τα οποία παρουσίαζαν το φαινόμενο του αυτοκαθαρισμού, εισήγαγαν την έννοια της υδροφιλίας-υδροφοβίας και έδιναν αφορμή για πειραματισμό. Οι μαθητές πειραματίστηκαν ταξινομώντας διάφορα αντικείμενα με κριτήριο την υδροφιλία – υδροφοβία των υλικών κατασκευής τους. Διατύπωσαν υποθέσεις για τις παρατηρούμενες διαφορές και προσπάθησαν να τις ελέγξουν με επιπλέον πειραματισμό. Κύλισαν μπαλάκια σε επιφάνειες στις οποίες είχαν καρφωθεί καρφιά ή καλαμάκια, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα αναλογικό μοντέλο της αλληλεπίδρασης της σταγόνας με διάφορα υλικά, ώστε να εξηγηθεί το φαινόμενο του λωτού. Οι μαθητές καλούνταν να παρατηρήσουν και να καταγράψουν τις διαφορές που παρουσιάζονται ανάμεσα σε δυο αναβράζοντα δισκία, ένα ολόκληρο και ένα θρυμματισμένο, όταν κλείνονται μέσα σε δύο κλειστά δοχεία με νερό. Σε μια προσπάθεια ερμηνείας οι μαθητές εργάστηκαν με κύβους συζητώντας τη σχέση μεταξύ του μεγέθους κάθε κύβου και της αντίστοιχης αναλογίας επιφάνειας προς όγκο και διαπίστωναν την αύξηση της συνολικής επιφάνειας και τη σταθερότητα του όγκου. Οι μαθητές Λυκείου επιδόθηκαν σε επιπλέον πειραματικές δραστηριότητες, όπως επίδραση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος σε σιδερένιο καρφί, τριχοειδή φαινόμενα, αντίδραση διάσπασης του υπεροξείδιου του υδρογόνου με κομμένες πατάτες διαφορετικού βαθμού κατάτμησης, αραίωση διαλύματος χρυσού, κ.α.

5η συνάντηση: Οι μαθητές προσέγγισαν με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο θέματα Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας (*Responsible Research & Innovation (RRI)*, European Commission, 2012). Αυτό έγινε σε πρώτο επίπεδο με τη μελέτη κατάλληλα επιλεγμένων κειμένων από τα ΜΜΕ (άρθρα εφημερίδων, άρθρα από διεθνή περιοδικά, σχόλια σε ιστότοπους στο διαδίκτυο), τα οποία βοήθησαν τους μαθητές να προσεγγίσουν το αντικείμενο της νανοεπιστήμης, τα προϊόντα που μπορεί να δώσει και τους κινδύνους που πιθανόν προκύπτουν. Με καταγραφές, ταξινομήσεις, συγκρίσεις, συζήτηση και ανακοινώσεις οι μαθητές εστίασαν σε ορισμένες πρόσφατες και προσδοκώμενες εφαρμογές της

νανοτεχνολογίας σε δομικά υλικά, σε λύσεις περιβαλλοντικών προβλημάτων, σε ιατρικές διαγνώσεις και θεραπείες, σε οπτικά και ηλεκτρονικά υλικά.
Σε δεύτερο επίπεδο ζητήθηκε από τους μαθητές η επισήμανση στοιχείων για την υπεύθυνη στάση των κοινωνικών φορέων (ερευνητών, βιομηχανίας, πολιτικών και κοινωνίας) σε θέματα έρευνας, τεχνολογίας και καινοτομίας. Με την καθοδήγηση των εκπαιδευτικών και με τη βοήθεια των επιλεγμένων κειμένων οι μαθητές εμβάθυναν σε έννοιες όπως ισότητα ευκαιριών, διαφάνεια, ελεύθερη πρόσβαση και ηθική δεοντολογία σε θέματα έρευνας. Στόχος των δραστηριοτήτων αυτών ήταν να προβληματιστούν οι μαθητές για τα θέματα Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας που εγείρονται από την εισαγωγή εφαρμογών νανοτεχνολογίας στην καθημερινή ζωή.

6η συνάντηση: Λόγω της σπουδαιότητας που δίνει το πρόγραμμα IRRESISTIBLE στα θέματα Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας (RRI) η ενασχόληση με το θέμα επεκτάθηκε και σε ένα τρίτο επίπεδο περιλαμβάνοντας θέματα που αφορούν στον ρόλο των επιστημονικών ερευνητικών ιδρυμάτων και των επιστημόνων. Μετά από τη μελέτη των επιλεγμένων κειμένων και από τη συζήτηση που αναπτύχθηκε στις ομάδες και στην ολομέλεια της τάξης οι μαθητές διατύπωσαν και κατέγραψαν ερωτήματα. Η έμφαση δόθηκε σε θέματα ηθικής και δεοντολογίας και ειδικά στον ρόλο ιδρυμάτων και επιστημόνων που αναπτύσσουν νανοϋλικά και ερευνούν τις πιθανές εφαρμογές τους. Στόχος ήταν οι μαθητές να απευθύνουν τα ερωτήματα αυτά σε ειδικούς επιστήμονες. Για τον σκοπό αυτό οργανώθηκε επίσκεψη ή τηλεδιάσκεψη με το Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ) στο Ηράκλειο Κρήτης. Κατά τη διάρκειά της οι μαθητές είχαν την ευκαιρία αφενός να παρακολουθήσουν πειράματα και να δουν εφαρμογές των νανοϋλικών και αφετέρου να συζητήσουν με τους ερευνητές, να τους υποβάλλουν τα ερωτήματά τους και να λάβουν απαντήσεις.

Με την ολοκλήρωση των έξι συναντήσεων οι μαθητές ανέλαβαν να επικοινωνήσουν τη γνώση που απέκτησαν με τη δημιουργία σχετικών εκθεμάτων. Τα εκθέματα πήραν τη μορφή πόστερ, επιτραπέζιων παιχνιδιών, παιχνιδιών αντιστοίχισης με κάρτες, αλληλεπιδραστικών παιχνιδιών, πειραμάτων, αλληλεπιδραστικών πόστερ, ψηφιακών πόστερ, ψηφιακών κουίζ, ψηφιακών παιχνιδιών και κατασκευών. Για τη δημιουργία των εκθεμάτων υπήρξε καθοδήγηση και υποστήριξη από τα συνεργαζόμενα μουσεία – κέντρα επιστημών, όπου και εκτέθηκαν τα εκθέματα το χρονικό διάστημα Μαΐου-Ιουνίου 2015, ενώ οι μαθητές τα παρουσίασαν οι ίδιοι στο κοινό σε ειδική εκδήλωση στο Ίδρυμα Ευγενίδου στην Αθήνα και στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Πανεπιστημίου Κρήτης στο Ηράκλειο.

Η εμπειρική έρευνα

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή της διδακτικής ενότητας νανοτεχνολογίας συνοδεύτηκε και από αντίστοιχη έρευνα που αφορούσε στους μαθητές. Το ερευνητικά ερωτήματα ήταν α) κατά πόσο οι μαθητές Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου μπορούν να προσεγγίσουν βασικές ιδέες της νανοτεχνολογίας και β) κατά πόσο μέσω των καινοτόμων εφαρμογών της νανοτεχνολογίας μπορούν να προσεγγίσουν βασικές διαστάσεις της Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας (RRI).
Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 45 μαθητές Δημοτικού, 20 μαθητές Γυμνασίου και 22 μαθητές Λυκείου. Για τη συλλογή των δεδομένων της έρευνας τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- ερωτηματολόγια που απάντησαν οι μαθητές στην αρχή και στο τέλος της ενότητας,
- κλείδα παρατήρησης των διδασκαλιών,
- φύλλα εργασίας μαθητών,
- εκθέματα που κατασκεύασαν οι μαθητές,
- καταγραφή της αλληλεπίδρασης των μαθητών τόσο μεταξύ τους όσο και με τους εκπαιδευτικούς μεταξύ των συναντήσεων. Αυτή η αλληλεπίδραση έγινε τόσο δια ζώσης

όσο και εξ αποστάσεως, όπως για παράδειγμα με τη χρήση της ηλεκτρονικής πλατφόρμας Edmodo.

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου (Cohen, Manion & Morrison 2007).

Αποτελέσματα

Αποτιμώντας την εφαρμογή της διδακτικής ενότητας μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας προκάλεσαν το έντονο ενδιαφέρον των μαθητών και ότι η διδακτική ενότητα αποτέλεσε κατάλληλη αφορμή για την ανάδειξη κοινωνικών θεμάτων στις Φυσικές Επιστήμες.

Ως προς το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, κατά πόσο οι μαθητές μπόρεσαν να προσεγγίσουν βασικές ιδέες της νανοτεχνολογίας, τα δεδομένα από όλα τα ερευνητικά εργαλεία κατέδειξαν ότι:

- Καταγράφηκε έντονο ενδιαφέρον των μαθητών όλων των εκπαιδευτικών βαθμίδων για τις εφαρμογές της νανοτεχνολογίας. Το ενδιαφέρον αυτό εκδηλώθηκε με ενεργό συμμετοχή στις δραστηριότητες, με επιθυμία για μεγαλύτερη ενασχόληση με το θέμα, με πρόσθετη αναζήτηση πληροφοριών και με πολλά ερωτήματα που τέθηκαν.
- Οι περισσότεροι μαθητές ήταν ενήμεροι γενικά για τη νανοτεχνολογία από ΜΜΕ, διαδίκτυο, οικογενειακό και φιλικό περιβάλλον, αλλά δεν είχαν σαφή εικόνα των προϊόντων, του εύρους των εφαρμογών, των ωφελειών και των κινδύνων, καθώς και της μικροσκοπικής ερμηνείας των σχετικών φαινομένων.
- Μεγάλο ενδιαφέρον προκάλεσαν σε όλους τους μαθητές τα υδρόφοβα υλικά και το φαινόμενο του λωτού, πράγμα που δικαιολογείται από τα πειράματα που έκαναν αλλά διαπιστώνεται και από τα εκθέματα που δημιούργησαν.
- Μεγάλη εντύπωση έκανε στους μεγαλύτερους μαθητές ο χειρισμός μεμονωμένων μορίων, που χρησιμεύει σε ιατρικές εφαρμογές και στα ελαφρά και ανθεκτικά υλικά. Αυτό τεκμαίρεται από τα αιτήματά τους να μάθουν περισσότερα για αντίστοιχες εφαρμογές και από το πλήθος των ερωτημάτων που υπέβαλαν στους ειδικούς επιστήμονες.
- Οι γνωστικές δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές ήταν αρκετές και φυσικά αντίστοιχες με την ηλικία τους. Δε γνώριζαν τη διάταξη οντοτήτων του μικρόκοσμου με βάση το μέγεθός τους. Δυσκολεύονταν να κατανοήσουν την αναλογία μεγεθών στα αόρατα σωμάτια. Δεν είχαν ξεκάθαρη άποψη για τα όρια του νανόκοσμου. Είχαν δυσκολίες στις μετρήσεις και στους υπολογισμούς. Ωστόσο, τελικά δεν αντιμετώπισαν δυσκολίες με την ερμηνεία της μεταβολής του πηλίκου επιφάνειας προς όγκο για την αλλαγή των ιδιοτήτων στο επίπεδο της νανοκλίμακας.
- Η αλλαγή ιδιοτήτων εξαιτίας της αλλαγής της σχέσης επιφάνειας προς όγκο φαίνεται ότι αποτέλεσε ένα επαρκές πλαίσιο για την ερμηνεία της συμπεριφοράς των νανοϋλικών. Τα αυτοκαθαριζόμενα υλικά αποδείχθηκαν κατάλληλη επιλογή για τη σύνδεση της νανοτεχνολογίας με θέματα καθημερινής ζωής.
- Η δημιουργία εκθεμάτων, παρότι αρχικά δυσκόλεψε τους μαθητές, τελικά λειτούργησε ως σύνοψη της ενότητας, ως εργαλείο αξιολόγησης, ως ευκαιρία έκφρασης, δημιουργικότητας και συνεργασίας.

Ως προς το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, κατά πόσο μέσω των καινοτόμων εφαρμογών της νανοτεχνολογίας οι μαθητές μπορούν να προσεγγίσουν βασικές διαστάσεις της Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας (RRI), τα δεδομένα κατέδειξαν ότι:

- Οι μαθητές αποδείχθηκαν ιδιαίτερα ευαισθητοποιημένοι σε κάποια ζητήματα, όπως η ισότητα των δυο φύλων, η διαφάνεια στην έρευνα, οι κίνδυνοι από τη γενικευμένη χρήση νανοϋλικών και η προστασία του περιβάλλοντος.

- Οι μαθητές χρειάζονται περισσότερο χρόνο για εμβάθυνση και επέκταση σε άλλες διαστάσεις, όπως η διακυβέρνηση, η δεοντολογία, η ακαδημαϊκή ελευθερία, η ελεύθερη πρόσβαση στην πληροφόρηση, η δημόσια χρηματοδότηση της έρευνας και η εμπλοκή των Μη Κυβερνητικών Οργανώσεων (ΜΚΟ).
- Από την εφαρμογή της ενότητας ενισχύθηκε η αρχική επιθυμία των μαθητών να υπάρχει έλεγχος στην έρευνα, να θεσπίζονται ηθικοί κανόνες, να αποφεύγονται οι επικίνδυνες εφαρμογές και να υπάρχει ισότητα ανδρών-γυναικών σε θέματα επιστήμης και έρευνας.
- Η εφαρμογή της ενότητας άνοιξε ένα νέο παράθυρο σκέψης κυρίως στους μεγαλύτερους μαθητές, καθώς έδωσε ευκαιρίες για την εισαγωγή κοινωνικών θεμάτων στη διδασκαλία Φυσικών Επιστημών και μάλιστα ζητημάτων ηθικής και δεοντολογίας. Οι μαθητές όλων των ηλικιών δεν έχουν πολλές ευκαιρίες για τέτοιες διεπιστημονικές θεωρήσεις. Στον βαθμό που το πρόγραμμα εισήγαγε και συζήτησε θέματα που σχετίζονται με τον τρόπο που η επιστήμη λύνει κοινωνικά προβλήματα, συνέβαλε στην ενίσχυση της επιθυμίας των μαθητών να περιλαμβάνονται στις Φυσικές Επιστήμες και κοινωνικά θέματα. Έτσι, με το τέλος της ενότητας οι μαθητές δήλωσαν ότι θεωρούν απαραίτητο να διαπραγματεύονται και κοινωνικά θέματα κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.
- Η αλληλεπίδραση των μαθητών με τα κέντρα επιστημών και με τους ερευνητές του αντίστοιχου ερευνητικού πεδίου αποτέλεσε σημαντική καινοτομία του προγράμματος, γεγονός που και οι ίδιοι μαθητές αναγνώρισαν. Οι επισκέψεις στους χώρους των ιδρυμάτων, η υποστήριξη στη δημιουργία εκθεμάτων, η άμεση επαφή με τους ερευνητές επιστήμονες, η δυνατότητα υποβολής ερωτημάτων και η επαφή μέσω τηλεδιάσκεψης ήταν πρωτόγνωρες εμπειρίες.

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, θεωρούμε ο σχεδιασμός και η εφαρμογή της ενότητας εκπλήρωσαν τους στόχους τους για τρεις λόγους.

- Πρώτον, δόθηκαν ευκαιρίες για ενασχόληση με ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην αιχμή της έρευνας, αποδεικνύοντας ότι με την κατάλληλη προετοιμασία είναι δυνατή η εξοικείωση των μαθητών με τις αντίστοιχες έννοιες και φαινόμενα στο μάθημα των Φυσικών Επιστημών.
- Δεύτερον, αποτέλεσε ένα απτό παράδειγμα διεπιστημονικής/διαθεματικής προσέγγισης, αποδεικνύοντας ότι η διδασκαλία Φυσικών Επιστημών σε συνδυασμό με προβληματισμούς για τις επιπτώσεις και την ηθική τους διάσταση οδηγεί στην απόκτηση μιας κριτικής στάσης εκ μέρους των μαθητών απέναντι σε ερευνητικές καινοτομίες.
- Τρίτον, ανέδειξε τον ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν τα μουσεία – κέντρα επιστημών στην υποστήριξη της διδασκαλίας στην τυπική εκπαίδευση. Αυτό δεν αποτελεί ένα απλό ευχολόγιο, καθώς στη συγκεκριμένη περίπτωση η αλληλεπίδραση των μαθητών με τα κέντρα επιστημών και τους ερευνητές του αντίστοιχου ερευνητικού πεδίου φαίνεται να άνοιξε νέες διαστάσεις στην εκπαίδευση των μαθητών, αφού πολλαπλασίασε τη δυνατότητά τους να γνωρίζουν και να επικοινωνούν θέματα που βρίσκονται στην αιχμή της έρευνας.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι η νανοτεχνολογία είναι δυνατό να διδαχθεί στο πλαίσιο μαθημάτων Φυσικών Επιστημών εφόσον έχει προηγηθεί ο κατάλληλος διδακτικός μετασχηματισμός. Ως πρόταση για περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να διερευνηθεί σε βάθος η δυνατότητα εισαγωγής ηθικών ζητημάτων που προκύπτουν από τις εξελίξεις στο πεδίο της επιστήμης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Βιβλιογραφία

Μιχαηλίδη Α. Α. (2013). *Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικής μαθησιακής σειράς για τη νανοτεχνολογία στην υποχρεωτική εκπαίδευση*. Αδημοσίευτη πτυχιακή εργασία, Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστημίου Κρήτης.

Bybee R. W. (2002). Scientific inquiry, student learning, and the science curriculum. In R. W. Bybee (Ed.). *Learning science and the science of learning*. Arlington, VA: NSTA Press.

Cohen L., Manion L. & Morrison K. (2007). *Research Methods in Education* (6th Edition). London-New York: Routledge.

European Commission (2012). *Responsible Research & Innovation*. http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/responsible-research-and-innovation-leaflet_en.pdf [ημερ. πρόσβασης 25-09-2015].

Hingant B. & Albe V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: a review of literature. *Studies in Science Education* 46, 121-152.

Laherto A. (2010). An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy. *Science Education International*, 21(3), 160-175.

Sadler T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.

Stevens S., Sutherland L. & Krajcik J. (2009). *The 'big ideas' of nanoscale science and engineering*. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.