

# Η αξιοποίηση των νοητικών πειραμάτων στη διδασκαλία της φυσικής με τη χρήση βιβλίων εκλαΐκευσης της επιστήμης. Η περίπτωση του μικροσκοπίου του Heisenberg.

Αθανάσιος Βελέντζας<sup>1</sup>, Κρυσταλλία Χαλκιά<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Φυσικός MSc, καθηγητής Μέσης Εκπαίδευσης

[avelentz@gmail.com](mailto:avelentz@gmail.com)

<sup>2</sup>Επ. Καθηγήτρια Π.Τ.Δ.Ε Πανεπιστημίου Αθήνας

[kxalkia@primedu.uoa.gr](mailto:kxalkia@primedu.uoa.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας πιλοτικής έρευνας που έγινε σε μαθητές της Γ' Τάξης του Λυκείου. Διερευνήθηκε κατά πόσο το νοητικό πείραμα «Μικροσκόπιο του Heisenberg», όπως αυτό μετασχηματίζεται στο βιβλίο εκλαΐκευσης της φυσικής του G. Gamow «Οι περιπέτειες του κ. Τόμπκινς», μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στη διδασκαλία της «Αρχής της Αβεβαιότητας». Από τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψε ότι η διαδικασία που εφαρμόστηκε βοήθησε σημαντικά τους μαθητές να προσεγγίσουν την αρχή της αβεβαιότητας και της συνέπειές της. Επίσης, η χρήση κειμένου εκλαΐκευσης της φυσικής βοήθησε τους μαθητές, που δεν είναι αρκετά εξοικειωμένοι με τον αυστηρό επιστημονικό κώδικα, να εκφράσουν τις ιδέες τους, να αναπτύξουν τα επιχειρήματά τους και να υπερβούν κάποια εννοιολογικά εμπόδια προκειμένου να προσεγγίσουν τη νέα θεωρία. Τα ευρήματα αυτής της έρευνας κατατείνουν στο ότι τα ΝΠ αποτελούν ισχυρά εργαλεία για τη διδασκαλία εννοιών της φυσικής η κατανόηση των οποίων απαιτεί από τους μαθητές να υπερβούν νοητικά την καθημερινή τους εμπειρία. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας μπορεί να αξιοποιηθούν για το σχεδιασμό ευρύτερης έρευνας προκειμένου ένα τέτοιο γενικό συμπέρασμα να διατυπωθεί οριστικά.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** νοητικά πειράματα, βιβλία εκλαΐκευσης της φυσικής, διδασκαλία φυσικής, αρχή αβεβαιότητας, μικροσκόπιο του Heisenberg.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ΝΠ είναι πειράματα που σχεδιάζονται από τους επιστήμονες και «πραγματοποιούνται στο εργαστήριο του μυαλού» (Brown 1991) ή με άλλα λόγια σχεδιάζονται νοητικά «χωρίς να χρειάζεται να εκτελεστούν στην πραγματικότητα» (Sorensen 1992). Για το ρόλο των ΝΠ στην εξέλιξη των ΦΕ έχουν αναφερθεί πολλοί φιλόσοφοι της επιστήμης. Μεταξύ αυτών ο Kuhn (1977) αναφέρει ότι τα ΝΠ έχουν παίξει αποφασιστικό ρόλο στην ανάπτυξη των ΦΕ και, σε κάποιες περιστάσεις, 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 1959/1999).

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 (1896/1976) 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 Koyre (1968), είναι βασική στην επιστημονική σκέψη και αναδεικνύει την σύνθετη φύση της επιστημονικής γνώσης.

Αντίστοιχα και στην εκπαίδευση τα ΝΠ θεωρούνται από τους εκπαιδευτικούς αναντικατάστατα 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 διδαχτούν οι μαθητές, με την καθημερινή τους εμπειρία και την προϋπάρχουσα γνώση (Helm at al. 1985). Τα ΝΠ, συνεπώς, μπορεί να αποδειχτούν χρήσιμα εργαλεία και στη διδασκαλία της κβαντομηχανικής, τις έννοιες της οποίας, όπως δείχνουν οι έρευνες (Fischler & Lichtfeldt 1992, Johnston at.al 1998), οι μαθητές, όχι μόνο της δευτεροβάθμιας αλλά και της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, δυσκολεύονται να προσεγγίσουν.

Στις μέρες μας οι θεωρίες των ΦΕ μπορούν να προσεγγιστούν από το ευρύ κοινό μέσα από ένα ευρύ φάσμα πηγών, τόσο της τυπικής, όσο και της άτυπης εκπαίδευσης (Wellington 1991). Πηγές άτυπης εκπαίδευσης μπορεί να είναι ο τύπος, τα περιοδικά τα βιβλία εκλαΐκευσης της επιστήμης, η τηλεόραση, το βίντεο, ο κινηματογράφος, τα μουσεία, το internet κ.α. Αυτές οι πηγές είναι σήμερα εύκολα προσβάσιμες στους μαθητές, στους δασκάλους και γενικότερα στο ευρύ κοινό (Halkia 2003). Κορυφαίοι επιστήμονες αναγνώρισαν τη δυναμική των ΝΠ για την επικοινωνία με το κοινό, εξαιτίας του βασικού τους χαρακτηριστικού να περιέχουν αφήγηση (Nersessian 1993). Για παράδειγμα, ο Einstein (1917/1961), σχεδίασε ΝΠ όχι μόνο για την ανάπτυξη των θεωριών του αλλά και για την εκλαΐκευσή τους. Επίσης, διακεκριμένοι επιστήμονες, όπως ο Gamow (1966, 1990) ή ο Landau (1959), έγραψαν βιβλία προσπαθώντας να εκλαϊκεύσουν θεωρίες της φυσικής. Στην προσπάθειά τους αυτή, συχνά, χρησιμοποίησαν ΝΠ, ιδιαίτερα προκειμένου να παρουσιάσουν θεωρίες της φυσικής του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Velentzas, Halkia, Scordoulis 2005α).

Για τους προαναφερθέντες λόγους, θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί κατά πόσο τα ΝΠ που αναφέρονται σε θεωρίες της φυσικής του 20<sup>ου</sup> αιώνα, θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως εργαλείο για τη διδασκαλία αυτών των θεωριών σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, με άντληση εκπαιδευτικού υλικού από βιβλία εκλαΐκευσης της φυσικής διακεκριμένων επιστημόνων. Συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας πιλοτικής έρευνας, που έγινε σε μαθητές της Γ' Τάξης του Λυκείου, με σκοπό να διερευνηθεί κατά πόσο το ΝΠ «Μικροσκόπιο του Heisenberg» (Heisenberg 1930/1949) μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως εργαλείο για τη διδασκαλία της «Αρχής της Αβεβαιότητας». Η διδασκαλία αυτής της Αρχής προβλέπεται από το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα. Φύλλα εργασίας δημιουργήθηκαν με τη χρήση αποσπασμάτων από το εκλαϊκευτικό βιβλίο του G. Gamow (1990/1995) «Οι περιπέτειες του κ. Τόμπκινς».

## **ΤΑ ΝΠ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

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 1896/1976, Matthews 1994). 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 ΦΕ 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 2000, Reiner 1998).

Μεγάλη αξία στη διδασκαλία των ΦΕ έχει η διαδικασία κατά την οποία «οι μαθητές ερωτώνται να προβλέψουν νοητικά το αποτέλεσμα ενός πειράματος» (Matthews 1994), είτε αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί στο σχολικό εργαστήριο είτε όχι. Η διαδικασία αυτή ενθαρρύνει τους μαθητές να εκφράσουν τις ιδέες τους για τις έννοιες που πρόκειται να διδαχθούν. Αυτή η μέθοδος, κατά τον Mach (1896/1976), είναι η καλύτερη για να κατανοήσει ο δάσκαλος 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. 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 at al. 1985).

### **Οι δυσκολίες στη διδασκαλία της κβαντομηχανικής**

Διάφορες έρευνες, σχετικές με τη διδασκαλία της κβαντομηχανικής, (Fischler & Lichtfeldt 1992, Johnston at.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 κβαντομηχανική απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο αφάιρεσης (Johnston at.al 1998). 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 at al. 1985), βοηθούν στο γεφύρωμα του χάσματος μεταξύ των εμπειρικών δεδομένων και των θεωρητικών εννοιών. Έτσι, στην παρούσα εργασία γίνεται απόπειρα να διδαχτεί ένα θέμα της κβαντομηχανικής σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με αξιοποίηση του ΝΠ σε μορφή η οποία χρησιμοποιεί ένα μη τυπικό κώδικα επιστήμης, αλλά ένα κώδικα εκλαΐκευσης που φαίνεται να είναι πολύ ευχάριστος στους μαθητές (Halkia, Mantzouridis 2005).

## **Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

### **Η επιλογή ΝΠ για τη διδασκαλία της αρχής της αβεβαιότητας**

Από προηγούμενη έρευνα (Velentzas, Halkia, Scordoulis 2005β), σχετική με την παρουσίαση των ΝΠ στα διδακτικά εγχειρίδια και στα βιβλία εκλαΐκευσης της φυσικής, διαπιστώθηκε ότι το ΝΠ που χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό από τους συγγραφείς των διδακτικών εγχειριδίων, στα κεφάλαια της κβαντικής φυσικής, είναι το «μικροσκόπιο του Heisenberg». Αυτό το ΝΠ χρησιμοποιείται για την παρουσίαση της αρχής της αβεβαιότητας, η οποία μαζί με το «παράδοξο του κυματοσωματιδίου» οριοθετεί την μοντέρνα φυσική από τη Νευτώνεια (Johnston et al 1998). Η αρχή της αβεβαιότητας θα πρέπει, κατά τους Fischler και Lichtfeldt (1992), να εισάγεται νωρίς όταν πρόκειται να διδαχθούν κβαντικά φαινόμενα. Το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση προβλέπει τη διδασκαλία αυτής της αρχής στη Γ' Λυκείου θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης, με στόχο: «να είναι σε θέση ο μαθητής να περιγράφει ποιοτικά την αρχή της αβεβαιότητας και να αναφέρει της συνέπειές της». Έτσι, για την παρούσα πιλοτική έρευνα επιλέχθηκε να διερευνηθεί κατά πόσο η χρήση του παραπάνω ΝΠ του Heisenberg έχει θετικά αποτελέσματα στη διδασκαλία της αρχής της αβεβαιότητας.

### **Το δείγμα**

Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε τρία πρωινά Γενικά Λύκεια του νομού Αττικής στα οποία υπήρχε πρόσβαση. Το ένα από αυτά ήταν πρότυπο, το άλλο ιδιωτικό και το τρίτο δημόσιο. Η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε σε μια τετραμελή ομάδα από κάθε σχολείο. Οι μαθητές ήταν από τη θετική ή την τεχνολογική κατεύθυνση γιατί στη φυσική αυτών των κατευθύνσεων προβλέπεται η διδασκαλία της αρχής της αβεβαιότητας. Η επιλογή των μαθητών έγινε από τους καθηγητές τους, ώστε κάθε ομάδα να αποτελείται από μαθητές διαφορετικής απόδοσης στο μάθημα της φυσικής στο σχολείο (άριστος - καλός - μέτριος - αδύνατος). Η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε αφού προηγουμένως οι μαθητές είχαν διδαχτεί στο σχολείο το κεφάλαιο της φυσικής γενικής παιδείας για τη φύση του φωτός. Με βάση αυτό το γεγονός δομήθηκε ένα σχέδιο μαθήματος και στη συνέχεια ένα φύλλο εργασίας.

### **Το σχέδιο μαθήματος**

Τα βήματα της διδασκαλίας σύμφωνα με το σχέδιο μαθήματος ήταν:

- (1) Η μέτρηση στην κλασική φυσική.
- (2) Επανάληψη / υπενθύμιση της θεωρίας του Planck, ενέργεια και ορμή φωτονίων.
- (3) ΝΠ προσδιορισμού της τροχιάς σωματιδίου σύμφωνα με την κλασική φυσική.
- (4) Εισαγωγή κβαντικών περιορισμών στο προηγούμενο ΝΠ.
- (5) Αρχή αβεβαιότητας και συνέπειες.

### **Το φύλλο εργασίας**

Για την κατασκευή του φύλλου εργασίας αναζητήθηκε υλικό από βιβλία εκλαΐκευσης της φυσικής. Από έρευνα σε καταλόγους Ελληνικών εκδοτικών οίκων επιλέχθηκαν για μελέτη δέκα βιβλία με κριτήρια:

- (α) Να είναι παγκοσμίως γνωστά.
- (β) Οι συγγραφείς τους να είναι γνωστοί φυσικοί και
- (γ) Να αναφέρονται στην κβαντομηχανική.

Μετά τη μελέτη αυτών των βιβλίων, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το βιβλίο του Gamow (1990/1995) «Οι περιπέτειες του κ. Τόμπκινς». Η επιλογή έγινε με βάση:

- (α) την έκταση του αντίστοιχου κειμένου (όχι πολύ σύντομο ή πολύ εκτενές)

- (β) την χρησιμοποιούμενη ορολογία (να μην διαφοροποιείται σημαντικά από την ορολογία της σχολικής φυσικής),
- (γ) την προαπαιτούμενη γνώση (να μην υπερβαίνει τις γνώσεις του σχολείου) και
- (δ) τους χρησιμοποιούμενους κώδικες αφήγησης (να είναι το κείμενο ελκυστικό για τους μαθητές).

Το φύλλο εργασίας περιείχε οδηγίες, ερωτήσεις και αποσπάσματα από το παραπάνω βιβλίο του Gamow. Τα αποσπάσματα βρισκόντουσαν σε αντιστοιχία με τα βήματα της διδασκαλίας. Πριν και μετά από κάθε απόσπασμα υπήρχαν ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις πριν από το διάβασμα ενός αποσπάσματος στόχευαν στην ανίχνευση των ιδεών των μαθητών σχετικών με τη θεματική του αποσπάσματος. Οι ερωτήσεις μετά από το διάβασμα κάθε αποσπάσματος στόχευαν στο να διαπιστωθεί (ι) κατά πόσο οι απόψεις των μαθητών είχαν διαφοροποιηθεί (εφόσον αυτοί αρχικά είχαν εκφράσει αντίθετες απόψεις) και (ii) κατά πόσο οι μαθητές προσέγγισαν και ήταν σε θέση να εφαρμόζουν τη νέα γνώση.

### **Η διαδικασία**

Η διάρκεια της εφαρμογής σε κάθε σχολείο ήταν δύο ώρες και οι μαθητές εργάστηκαν ομαδικά για τη συμπλήρωση του φύλλου εργασίας. Ο ρόλος του δασκάλου ήταν συντονιστικός και συμβουλευτικός. Η διαδικασία μαγνητοφωνήθηκε και έγινε ανάλυση των διαλόγων.

Ένα μήνα μετά τη διδασκαλία, δόθηκε στους μαθητές τεστ, το οποίο συμπληρώθηκε ατομικά. Οι ερωτήσεις του τεστ ήταν ανοιχτές και όχι ευθείες, δηλαδή ο μαθητής έπρεπε να απαντήσει επιλέγοντας εναλλακτικές προτάσεις, με μικρές διαφοροποιήσεις, οι οποίες αναφέρονταν στα πλαίσια ενός φανταστικού διαλόγου μεταξύ μαθητών.

### **ΕΥΡΗΜΑΤΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

1. Η χρήση αποσπασμάτων από το κείμενο του Gamow φάνηκε να παροτρύνει τους μαθητές ώστε να εκφράσουν και να αναπτύξουν τα επιχειρήματά τους σχετικά με τη διαπραγμάτευση των νέων ιδεών. Πράγματι, αναπτύχθηκε έντονος διάλογος καθώς τον χρόνο οι μαθητές προσπαθούσαν να απαντήσουν στις ερωτήσεις του φύλλου εργασίας. Η διαφοροποίηση των μαθητών σύμφωνα με την επίδοσή τους στο μάθημα της φυσικής δεν ήταν πάντα εμφανής. Για παράδειγμα, σε αρκετές περιπτώσεις κατά τη συζήτηση στην ομάδα οι μέτριοι μαθητές ανέπτυξαν ισχυρότερη επιχειρηματολογία και απάντησαν πιο εύστοχα σε κάποια ερώτηση από ότι οι καλοί μαθητές.

2. Οι τεχνικές αφήγησης του συγγραφέα κέντρισαν το ενδιαφέρον των μαθητών, οι οποίοι φάνηκαν να απολαμβάνουν τη διαδικασία της ανάγνωσης του κειμένου και στη συνέχεια της ανταλλαγής των απόψεών τους. Δεν είναι τυχαίο ότι οι μαθητές όλων των ομάδων μετά το πέρας της εφαρμογής δήλωσαν ευχαριστημένοι από τη διαδικασία και ζήτησαν να κρατήσουν τις φωτοτυπίες με τα αποσπάσματα καθώς και τα στοιχεία από το βιβλίο του Gamow για να το προμηθευτούν.

3. Η προτεινόμενη διαδικασία βοήθησε τους μαθητές σε κάποιες περιπτώσεις να ξεπεράσουν σημαντικά εννοιολογικά εμπόδια. Δύο από τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι οι παρακάτω:

(i) Αρχικά οι μαθητές είχαν την άποψη ότι το όργανο μέτρησης (συγκεκριμένα ένα θερμόμετρο) δεν επηρεάζει το ίδιο τη μέτρηση. Αυτό μάλλον οφείλεται στο γεγονός

ότι οι μαθητές δεν ασκούνται στο σχολικό εργαστήριο. Με την ακολουθούμενη διαδικασία όμως φάνηκε ότι οι μαθητές ξεπέρασαν αυτή τη δυσκολία και κατάφεραν να βρουν την αναλογία μεταξύ της μείωσης των διαστάσεων ενός θερμομέτρου (προκειμένου να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η θερμοκρασία μικρής ποσότητας νερού) και της μείωσης της έντασης ενός φλας, το οποίο φωτίζει ένα σωματίδιο (προκειμένου να προσδιοριστεί με ολοένα αυξανόμενη ακρίβεια η τροχιά του).

(ii) Πριν την ανάγνωση του αντίστοιχου κειμένου οι μαθητές στην πλειονότητά τους υποστήριζαν ότι η αύξηση του μήκους κύματος του φωτονίου, με το οποίο γίνεται η παρατήρηση ενός ηλεκτρονίου δεν συνεπάγεται αύξηση της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό της θέσης του ηλεκτρονίου. Αυτό μάλλον εξηγείται από το γεγονός ότι οι μαθητές δεν είχαν έλθει ποτέ προηγουμένως, στο μάθημα της φυσικής, σε επαφή με την έννοια της διακριτικής ικανότητας. Όπως πρόκυψε από την ανάλυση των διαλόγων οι μαθητές βοηθήθηκαν σημαντικά από τις αναλογίες που χρησιμοποίησε ο συγγραφέας, προκειμένου να αναθεωρήσουν την άποψή τους.

4. Μετά το πέρας της διαδικασίας όλοι οι μαθητές, ακόμα και οι αδύνατοι, εφάρμοσαν εύκολα τη μαθηματική σχέση που εκφράζει την αρχή της αβεβαιότητας προκειμένου να διαπιστώσουν τις επιπτώσεις της στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο (στην περίπτωση ενός ηλεκτρονίου και ενός κόκκου σκόνης). Αυτό μάλλον εξηγείται από το γεγονός ότι οι μαθητές είναι αρκετά ασκημένοι σε διαδικασίες εφαρμογής τύπων. Η εφαρμογή της παραπάνω αρχής από τους ίδιους ήταν πιθανόν ο παράγοντας που τους βοήθησε, ώστε να απαντήσουν μετά ένα μήνα, όλοι σωστά, στην ερώτηση του τεστ για το που είναι εμφανείς οι επιπτώσεις της αρχής της αβεβαιότητας.

5. Όπως φάνηκε από τις απαντήσεις των μαθητών στο τεστ η προτεινόμενη διαδικασία βοήθησε αποτελεσματικά τους μαθητές να προσεγγίσουν την «αρχή της απροσδιοριστίας» και τις επιπτώσεις της. Όλοι οι μαθητές κατάφεραν να διακρίνουν τη διαφορά μεταξύ της φράσης «...δεν μπορώ να προσδιορίσω με οποιαδήποτε ακρίβεια τη θέση ή την ορμή ...» και της φράσης «...δεν μπορώ να προσδιορίσω, ταυτόχρονα, με οποιαδήποτε ακρίβεια τη θέση και την ορμή ...». Αυτό μάλλον δείχνει ότι οι μαθητές κατανόησαν τη διαδικασία που περιγράφηκε στο ΝΠ και ήταν σε θέση να διατυπώνουν σωστά την αρχή της αβεβαιότητας. Επιπλέον, το 83% των μαθητών επέλεξε τη φράση «...η αρχή της αβεβαιότητας είναι γενική αρχή και, απλώς, οι επιπτώσεις της είναι εμφανείς στο μικρόκοσμο...» και μόνο το 17% επέλεξε τη φράση «...η αρχή της αβεβαιότητας δεν είναι γενική αρχή επειδή ισχύει μόνο στο μικρόκοσμο...».

6. Υπήρξε ένα σημείο στο οποίο οι μαθητές πρόβαλλαν στη μεγάλη πλειοψηφία (κατά τη συζήτηση) σημαντικές αντιρρήσεις στις απόψεις του συγγραφέα. Συγκεκριμένα, ενώ οι μαθητές φάνηκε να κατανοούν τη διαδικασία που περιγράφηκε στο ΝΠ (γιατί στη συζήτηση δήλωναν ότι είναι αδύνατος ο προσδιορισμός της τροχιάς ενός σωματιδίου με την κλασική έννοια, δηλαδή απείρως λεπτή γεωμετρική γραμμή), εξακολουθούσαν (σε αντίθεση με τον ήρωα της ιστορίας) να πιστεύουν ότι έχει έννοια μια τέτοια τροχιά (είναι η «πραγματική τροχιά») και απλώς εμείς «δεν μπορούμε» και «δεν θα μπορέσουμε ποτέ» να την προσδιορίσουμε. Μια πιθανή ερμηνεία γι αυτό είναι ότι οι μαθητές έχουν μάθει να σκέφτονται στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής. Δεν είναι τυχαίο ότι κάποιοι μαθητές έκαναν αναφορά και στις τροχιές του ατομικού προτύπου του Bohr, η διδασκαλία του οποίου

κατά κάποιους ερευνητές θα πρέπει να αποφεύγεται (Fischler & Lichtfeldt 1992). Η διδασκαλία εννοιών της κβαντομηχανικής σε μεγάλες τάξεις, ίσως θα απαιτούσε και άλλο πλαίσιο στη διδασκαλία της φυσικής σε μικρότερες τάξεις (πιθανόν όχι τόσο αυστηρά ντετερμινιστικό). Αυτό αποτελεί ένα ερώτημα που χρήζει περαιτέρω έρευνας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα ευρήματα της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι η χρήση του ΝΠ «μικροσκόπιο του Heisenberg» στη διδασκαλία της αρχής της αβεβαιότητας με χρήση υλικού από το βιβλίο του Gamow «Οι περιπέτειες του κ. Τομπκινς» είχε θετικά αποτελέσματα. Ένα μήνα μετά την εφαρμογή οι μαθητές στην συντριπτική τους πλειοψηφία ήταν σε θέση να διατυπώνουν την αρχή της αβεβαιότητας, να την εφαρμόζουν σε προβλήματα και να ισχυρίζονται, δικαιολογώντας με βάση το ΝΠ, ότι δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την τροχιά (με την κλασσική έννοια) ενός σωματιδίου.

Οι αναλογίες που χρησιμοποίησε ο συγγραφέας βοήθησαν σε κάποια σημεία καθοριστικά τη διδασκαλία. Το ενδιαφέρον των μαθητών κεντρίστηκε από τη χρήση των κωδίκων εκλαΐκευσης και αφήγησης, οι οποίοι φαίνεται ότι αποτελούν χρήσιμα διδακτικά εργαλεία που όμως δεν έχουν αξιοποιηθεί επαρκώς από την εκπαίδευση. Σε αρκετές περιπτώσεις η αξιοποίηση του μη τυπικού κώδικα βοηθά τους μαθητές να ξεπεράσουν εμπόδια που τίθενται από τον κώδικα της επιστήμης (γλώσσα, μαθηματικός φορμαλισμός) προκειμένου να έλθουν σε επαφή με κάποιες σύνθετες έννοιες της φυσικής.

Από την παρούσα έρευνα φαίνεται ότι τα ΝΠ, που αποτέλεσαν (και αποτελούν) εργαλεία για την εξέλιξη των επιστημών, είναι και σημαντικά εργαλεία για τη διδασκαλία εννοιών, νόμων και αρχών της φυσικής η κατανόηση των οποίων απαιτεί από τους μαθητές να υπερβούν νοητικά την καθημερινή τους εμπειρία. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας μπορεί να αξιοποιηθούν για το σχεδιασμό ευρύτερης έρευνας, που θα περιλαμβάνει και άλλα ΝΠ, προκειμένου ένα τέτοιο γενικό συμπέρασμα να διατυπωθεί οριστικά.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Brown, J.: (1991) *The Laboratory of the Mind. Thought Experiments in the Natural Sciences* Routledge, London.
- Einstein, A.: (1917/1961), *Relativity: The Special and the General theory, A popular Exposition*, Grown publishers, New York
- Fischler, H., Lichtfeldt, M.: (1992) Modern physics and students' conceptions, *International Journal Science Education* 14(2), 181-190.
- Gamow, G.: (1966) *Thirty years that shook Physics*, Doubleday and Co.
- Gamow, G.: (1990) *Mr Tompkins in paperback*, Cambridge University Press (Στα Ελληνικά 1995: «Οι περιπέτειες του κ. Τομπκινς», μτφ. Κοτρίδης Ν., Δίαυλος)
- Gilbert, J. and Reiner, M.: (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization, *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283
- Halkia, K.: (2003) Teachers' views and attitudes towards the communication code and the rhetoric used in press science articles, in (Psillos at. Al) *Science Education Research in the Knowledge - Based Society*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

- Halkia, K., Mantzouridis, D. (2005). Students' Views and Attitudes Towards the Communication Code Used in Press Articles About Science. *International Journal of Science Education*, Vol 27, No. 12, pp. 1395–1411
- Heisenberg, W.: (1930, translation by Eckart C., Hoyt F., 1949) *The principles of the quantum theory*, Dover, New York
- Helm, H., Gilbert, J., Watts, D.M.: (1985) Thought experiments and physics education-Part 2. *Physics Education*, 20, 211-17.
- Johnston, I., Crawford, K., Fletcher, P.: (1998) Students difficulties in learning quantum mechanics, *International Journal Science Education* 20(4), 427-446.
- Koyre, A.: (1968) *Metaphysics and measurement*, Chapman & Hall, London.
- 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.
- Landau, L., Rumer, Y.: (1959) *What is relativity?* Basic Books, New York
- 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.
- Matthews, M.: (1994) Thought experiments in M. Matthews *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, New York-London, 99-105
- Nersessian, N.: (1993) In the Theoretician's Laboratory: Thought Experimenting as Mental Modeling. *Proceedings of the Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association*, vol. 2, pp. 291-301
- Popper, K.: (1959/1999) On the use of imaginary experiments especially in quantum theory, in K. Popper *The logic of scientific discovery*, Routledge, New York-London, 442-456.
- Reiner, M.: (1998). Thought Experiments and Collaborative Learning in Physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043-58.
- Sorensen, R.: (1992) *Thought Experiments*, Oxford University Press, New York and London.
- Velentzas, A., Halkia, K., Skordoulis, C.: (2005 $\alpha$ ). Thought experiments in physics theories of the 20<sup>th</sup> century: A tool for popularization and teaching in secondary education. *Proceedings of ESERA 2005*, Barcelona.
- Velentzas, A., Halkia, K., Skordoulis, C.: (2005 $\beta$ ). Thought experiments in the Theory of relativity and in Quantum mechanics: Their Presence in Textbooks and in Popular Science Books. *Proceedings of IHPST 8, 2005*, Leeds.
- Wellington, J.: (1991) Newspaper science, school science: friends or enemies?, *International Journal Science Education* 13(4), 363-372.