

## Η χρήση των νοητικών πειραμάτων στα σχολικά εγχειρίδια – Η περίπτωση παρουσίασης της νευτώνειας μηχανικής

Αθανάσιος Βελέντζας<sup>1</sup>, Κρυσταλλία Χαλκιά<sup>2</sup>, Κωνσταντίνος Σκορδούλης<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Μέση εκπ/ση, [avelentz@gmail.com](mailto:avelentz@gmail.com)

<sup>2</sup>Π.Τ.Δ.Ε. Παν/μιο Αθηνών, [kxalkia@primedu.uoa.gr](mailto:kxalkia@primedu.uoa.gr)

<sup>3</sup>Π.Τ.Δ.Ε. Παν/μιο Αθηνών, [kskordul@primedu.uoa.gr](mailto:kskordul@primedu.uoa.gr)

**Περίληψη.** Στην παρούσα εργασία ερευνάται η παρουσία των Νοητικών Πειραμάτων (ΝΠ) στα εγχειρίδια φυσικής του Λυκείου και ειδικότερα στην περίπτωση των νόμων της μηχανικής του Νεύτωνα. Διερευνήθηκαν χαρακτηριστικά στοιχεία των ΝΠ που εμπεριέχονται στα εγχειρίδια φυσικής της εικοσαετίας 1985 - 2005. Από την έρευνα προέκυψε ότι τα ΝΠ αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των σχολικών εγχειριδίων, οι συγγραφείς των οποίων χρησιμοποιούν ιστορικά ΝΠ ή ΝΠ που επινοούν οι ίδιοι ως διδακτικό εργαλείο προκειμένου να παρουσιάσουν στους μαθητές νόμους ή συνέπειες νόμων της νευτώνειας μηχανικής. Ιδιαίτερα τα ΝΠ χρησιμοποιούνται από τους συγγραφείς των εγχειριδίων φυσικής για την παρουσίαση νόμων και εννοιών, η κατανόηση των οποίων απαιτεί από τους μαθητές την νοητική υπέρβαση της καθημερινής τους εμπειρίας.

### Εισαγωγή

Τα νοητικά πειράματα (ΝΠ) είναι πειράματα που σχεδιάζονται από τους επιστήμονες με τέτοιο τρόπο ώστε η εκτέλεση τους στην πραγματικότητα να μην είναι αναγκαία (Sorensen 1992) και συνεπώς αυτά πραγματοποιούνται μόνο στο εργαστήριο του μυαλού (Brown 1991). Κατά τον Gendler (2000) η εκτέλεση ενός ΝΠ είναι η επιχειρηματολογία σχετικά με ένα φανταστικό σενάριο με στόχο την επικύρωση ή την απόρριψη μιας υπόθεσης ή μιας θεωρίας.

Τα ΝΠ έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της φυσικής, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των επιστημονικών επαναστάσεων του 17<sup>ου</sup> και του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Πράγματι, τα ΝΠ είναι ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποίησαν σημαντικοί επιστήμονες, όπως ο Γαλιλαίος, ο Νεύτωνας, ο Αϊνστάιν κ.α., οι εργασίες των οποίων καθόρισαν την εξέλιξη της Φυσικής. Κατά τον Kuhn (1977) τα ΝΠ έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη των θεωριών της φυσικής καθώς αυτά αποτελούν 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 αλλά και για να επιχειρηματολογήσουν προκειμένου να υπερασπιστούν μια θεωρία (Popper 1959/1999).

Σε ένα ΝΠ ο επιστήμονας δομεί ένα δυναμικό νοητικό μοντέλο και φαντάζεται μια ακολουθία γεγονότων και διαδικασιών ώστε να καταλήξει σε συμπεράσματα. Κατόπιν δημιουργεί ένα αφήγημα για να περιγράψει το σκητικό, την ακολουθία γεγονότων και τις διαδικασίες στους άλλους (Nersessian 1993). Μια από αυτές τις διαδικασίες σε ένα ΝΠ είναι συνήθως η αφαίρεση. Σε αυτή τη διαδικασία ένας οι περισσότεροι παράγοντες εξαλείφονται νοητικά ώστε να μελετηθεί η επίδραση των εναπομεινάντων παραγόντων στο αποτέλεσμα του ΝΠ (Mach 1896/1976). Συνεπώς, τα σκητικά, που «στήνονται» προκειμένου να «πραγματοποιηθούν» τα ΝΠ, αναφέρονται σε καταστάσεις που είναι συνήθως πέρα από την

καθημερινή εμπειρία, ενώ η «εκτέλεση» των «πειραμάτων» απαιτεί τη χρήση της φαντασίας και της λογικής.

Τα ΝΠ εκτός από εργαλεία των επιστημόνων μπορεί να αποτελέσουν και σημαντικά εργαλεία για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (ΦΕ). Η χρήση των ΝΠ στη σχολική τάξη απαιτεί από τους μαθητές να χρησιμοποιούν τη φαντασία τους, να αναπτύσσουν την κριτική τους σκέψη, να κάνουν υποθέσεις, να βγάζουν συμπεράσματα και να ανταλλάσσουν τις απόψεις τους με τους συμμαθητές τους. Τέτοια χαρακτηριστικά όμως, όπως η χρήσης φαντασίας, η διατύπωση υποθέσεων και η δημιουργική σκέψη αποτελούν επιδιώξεις της σύγχρονης διδασκαλίας των ΦΕ (Matthews 1994). Επιπλέον τα ΝΠ, καθώς έχουν ένα ιδιαίτερο ρόλο στην ιστορία των ΦΕ, μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να προσεγγίσουν τις ΦΕ μέσω της ιστορίας τους και να τους εξοικειώσουν με πρακτικές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες. (Gilbert & Reiner 2000).

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί η χρήση των ΝΠ στα σχολικά εγχειρίδια. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η χρήση των ΝΠ από τους συγγραφείς των εγχειριδίων φυσικής της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στα κεφάλαια που αναφέρονται στη θεωρία της μηχανικής του Νεύτωνα. Η έρευνα έγινε στα εγχειρίδια της εικοσαετίας 1985-2005.

### Ταξινόμηση των ΝΠ

Για την καλύτερη ανάλυση των ΝΠ έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις τους. Θα αναφερθούν δύο από αυτές, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία.

Α) Ο Brown (1991) ταξινομεί τα ΝΠ ανάλογα με τη χρήση τους σε:

α) Καταστρεπτικά (destructive) ΝΠ: Φέρνουν στην επιφάνεια θεωρητικές αδυναμίες μιας θεωρίας και μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και στην κατάρριψή της.

β) Εποικοδομητικά (constructive) ΝΠ: Βοηθούν στην καθιέρωση μιας θεωρίας και χωρίζονται σε:

β1. Μεσολαβητικά (mediative) ΝΠ: Διευκολύνουν την εξαγωγή συμπερασμάτων από μια καθιερωμένη θεωρία.

β2. Υποθετικά (conjectural) ΝΠ: Δημιουργούν με υποθετικό πειραματισμό ένα φαινόμενο και στη συνέχεια οδηγούν σε υποθέσεις για την ερμηνεία αυτού του φαινομένου.

β3. Άμεσα (direct) ΝΠ: Οδηγούν άμεσα στην παραγωγή μιας θεωρίας.

γ) Πλατωνικά (Platonic) ΝΠ: Είναι ταυτόχρονα καταστρεπτικά και άμεσα-εποικοδομητικά και οδηγούν στην απόρριψη μιας θεωρίας και στην ανάπτυξη μιας άλλης.

Β) Ο Sorensen (1992) ταξινομεί τα ΝΠ ανάλογα με τους λόγους για τους οποίους αυτά δεν εκτελούνται στην πραγματικότητα σε:

(α) ΝΠ στα οποία η νοητική τους εκτέλεση απαντά στο ζητούμενο ερώτημα, ενώ η ενδεχόμενη πραγματική εκτέλεσή τους δεν συνεισφέρει στην απάντηση (Unimprovable).

(β) ΝΠ στα οποία η πιθανή πραγματοποίηση των αναφερόμενων διαδικασιών είναι υπέρμετρα επιζήμια (Unaffordables).

(γ) ΝΠ των οποίων η εκτέλεση είναι δυνατή μόνο με τη σκέψη, δεδομένου ότι είναι αδύνατον να γίνει στην πράξη (Impossible).

### Μεθοδολογία έρευνας

(I) Τα κεφάλαια που ερευνήθηκαν

Για την παρούσα έρευνα επιλέχθηκε η θεματική περιοχή των σχολικών εγχειριδίων φυσικής στην οποία θεμελιώνεται η μηχανική του Νεύτωνα. Αναλυτικότερα διερευνήθηκαν τα κεφάλαια που περιλαμβάνουν την ελεύθερη πτώση, τις κινήσεις των βλημάτων, τους νόμους της κίνησης, την ορμή καθώς και το κεφάλαιο της βαρύτητας. Αυτά τα κεφάλαια διδάσκονται

συστηματικά στην Α΄ τάξη του ενιαίου Λυκείου, γι' αυτό και η έρευνα περιορίστηκε στα εγχειρίδια αυτής της τάξης.

### (II) Τα ερευνηθέντα εγχειρίδια

Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πέντε εγχειρίδια, τα οποία στο εξής θα ονομάζουμε Α, Β, Γ, Δ, Ε.

Τα Α, Β, Γ είναι τρία εγχειρίδια που γράφτηκαν από ομάδες ελλήνων συγγραφέων και χρησιμοποιήθηκαν κατά χρονολογική σειρά την εικοσαετία 1985-2005 στα ελληνικά Λύκεια, συγκεκριμένα:

Εγχειρίδιο Α, είναι το εγχειρίδιο «Φυσική Α΄ Λυκείου» (Κόκκοτας, Κρέμος 1990), που διδάχτηκε την περίοδο 1985 - 1997 και στην έρευνα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του 1990.

Εγχειρίδιο Β, είναι το εγχειρίδιο «Φυσική - Α΄ τάξη Ενιαίου Λυκείου» (Δαπόντες, Κασσέτας 1998), που διδάχτηκε την περίοδο 1998 - 2000 και στην έρευνα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του 1998.

Εγχειρίδιο Γ, είναι το εγχειρίδιο «Φυσική Γενικής Παιδείας - Α΄ τάξη Ενιαίου Λυκείου» (Βλάχος, Γραμματικάκης κ.α. 2003), που διδάσκεται από το 2001 και στην έρευνα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του 2003.

Το εγχειρίδιο Δ είναι το εγχειρίδιο «PSSC Φυσική» (Haber, Dodge, Walter 1992), που μεταφράστηκε στην Ελληνική γλώσσα και χρησιμοποιήθηκε πιλοτικά σε 250 λύκεια κατά την περίοδο 1992-1997.

Από έρευνα στους καταλόγους κεντρικών βιβλιοπωλείων των Αθηνών, διαπιστώθηκε ότι τα υπάρχοντα στην αγορά εγχειρίδια (όχι βοηθήματα) φυσικής, που έχουν γραφτεί ή μεταφραστεί στα ελληνικά, απευθύνονται σε φοιτητές πανεπιστημίων. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το εγχειρίδιο «Οι έννοιες της Φυσικής» (Hewitt 1994) που απευθύνεται και σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Αυτό είναι και το εγχειρίδιο Ε που χρησιμοποιήθηκε στη έρευνα.

### (III) Η καταγραφή των πραγματικών πειραμάτων και των ΝΠ

Αρχικά έγινε εντοπισμός και καταγραφή των πραγματικών πειραμάτων καθώς και των ΝΠ, που χρησιμοποιούν οι συγγραφείς των παραπάνω εγχειριδίων φυσικής προκειμένου να παρουσιάσουν τους νόμους που περιλαμβάνονται στα κεφάλαια που ερευνώνται. Δεν καταγράφηκαν, δηλαδή, δραστηριότητες, εφαρμογές και προβλήματα που υπάρχουν για εμπέδωση της διδαχθείσας ύλης στο τέλος των κεφαλαίων.

Στα πραγματικά πειράματα συμπεριλήφθηκαν:

-ιστορικά πειράματα ή πειράματα που δύσκολα πραγματοποιούνται στην τάξη (π.χ. ελεύθερη πτώση σε σωλήνα κενού), αλλά περιγράφονται προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα.

-πειράματα που περιγράφονται, έστω και χωρίς τεχνικές λεπτομέρειες και των οποίων δίνονται τα αποτελέσματα (π.χ. φωτογραφία με στροβοσκοπική μέθοδο, πίνακας τιμών) ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων.

-πειράματα που περιγράφονται και που μπορούν να πραγματοποιηθούν στο σχολικό εργαστήριο, στην τάξη ή στο σπίτι και γενικότερα στην καθημερινή ζωή των μαθητών.

Δεν καταγράφηκαν ως πραγματικά πειράματα εμπειρικές διαπιστώσεις της καθημερινότητας ή απλές περιγραφές γεγονότων (π.χ. φρενάρει ο οδηγός, οπότε οι επιβάτες κινούνται προς το μπροστινό μέρος του λεωφορείου...) καθώς και μαθηματικές εφαρμογές νόμων (π.χ. εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ορμής σε μπάλες που συγκρούονται).

Για τον προσδιορισμό των ΝΠ τέθηκε ο παρακάτω κανόνας:

Ένα ΝΠ προσδιορίζεται στην περίπτωση κατά την οποία περιγράφεται ένα φυσικό σύστημα (συνήθως πέρα από τα όρια της καθημερινής εμπειρίας) και ένα ερώτημα τίθεται. Κατόπιν ο «πειραματιστής» βασιζόμενος σε μια υπόθεση / θεωρία προβλέπει, νοητικά,

γεγονότα και διαδικασίες που συμβαίνουν στο σύστημα με σκοπό να απαντήσει στο ερώτημα. Τα γεγονότα και οι διαδικασίες είναι τέτοιες, ώστε να μην τίθεται θέμα αναπαραγωγής τους στην πραγματικότητα.

Μετά την καταγραφή και των δύο τύπων πειραμάτων προσδιορίστηκε το ποσοστό επί του συνόλου των πειραμάτων που είναι ΝΠ, ως ένα μέτρο του βαθμού χρήσης των ΝΠ από τους συγγραφείς.

#### (IV) Τα χαρακτηριστικά των ΝΠ που διερευνήθηκαν

Στην έρευνα προσδιορίστηκαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά στοιχεία για κάθε ένα από τα ΝΠ που εντοπίστηκαν

-Ο διδακτικός στόχος για τον οποίο ο συγγραφέας χρησιμοποιεί το ΝΠ (π.χ. διατύπωση νόμου, εύρεση συνεπειών νόμων ή αρχών κτλ)

-Ο λόγος για τον οποίο το «πείραμα» δεν διεξάγεται πραγματικά (π.χ. τεχνικά αδύνατο, επικίνδυνο κτλ)

-Η ύπαρξη αντίστοιχου ιστορικού ΝΠ και οι ομοιότητες της ιστορικής περιγραφής με την περιγραφή του συγγραφέα.

-Το πρόσωπο που σύμφωνα με την περιγραφή του συγγραφέα είναι ο «πειραματιστής» (π.χ. ο μαθητής, κάποιος επώνυμος επιστήμονας κτλ)

-Η ύπαρξη και ο βαθμός χρήσης μαθηματικού φορμαλισμού.

-Η ύπαρξη εικόνων στην περιγραφή του ΝΠ καθώς και ο στόχος χρήσης τους από τους συγγραφείς (π.χ. υποβοήθηση στην κατανόηση του κειμένου, αναπαράσταση φανταστικού σκηνικού κτλ).

#### (V) Τα αντικείμενα διδασκαλίας στα οποία κατά πλειοψηφία χρησιμοποιούνται ΝΠ

Καταγράφηκαν τέλος τα αντικείμενα διδασκαλίας στα οποία οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν, κατά πλειοψηφία, ΝΠ.

### Αποτελέσματα – σχολιασμός

1. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται το ποσοστό χρήσης ΝΠ

ΒΙΒΛΙΟ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	ΝΠ	ΧΡΗΣΗ ΝΠ
A	14	3	21,4%
B	19	3	15,8%
Γ	22	6	27,3%
Δ	15	2	13,3%
E	25	9	36%

Το ποσοστό χρήσης των ΝΠ κυμαίνεται από 13,3%, στο βιβλίο του PSSC που επικεντρώνει στην εργασία στο εργαστήριο, έως 36%, στο βιβλίο του Hewitt που στοχεύει στην κατανόηση των εννοιών χωρίς ιδιαίτερη χρήση μαθηματικών μοντέλων ή περίπλοκων εργαστηριακών συσκευών.

Τα ελληνικά εγχειρίδια, κατά χρονολογική σειρά έκδοσης, παρουσιάζουν ποσοστό χρήσης ΝΠ 21,4%, 15,8% και 27,3%. Η αύξηση χρήσης ΝΠ στο νεότερο εγχειρίδιο Γ συνοδεύεται και από κατ' επανάληψη ρητή χρήση του όρου «νοητικό πείραμα». Για παράδειγμα αναφέρεται «Ας κάνουμε τώρα το παρακάτω νοητικό πείραμα...». Στα δύο προηγούμενα ελληνικά εγχειρίδια A, B αυτός ο όρος απουσιάζει. Φαίνεται, λοιπόν, να έχουμε μια πιο συστηματική χρήση των ΝΠ από τους συγγραφείς. Μια εξήγηση είναι ότι τα δύο πρώτα εγχειρίδια γράφτηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '80 (το B διδάχτηκε αργότερα αλλά ήταν προσαρμογή στο εγχειρίδιο του πολυκλαδικού λυκείου που είχε γραφτεί την ίδια περίοδο).

Εκείνη την περίοδο στη διεθνή βιβλιογραφία, ενώ υπήρχαν άρθρα για το ρόλο των ΝΠ στις ΦΕ, δεν υπήρχαν έρευνες για το ρόλο που μπορεί αυτά να παίζουν στην διδασκαλία των ΦΕ. Όταν γράφτηκε το εγχειρίδιο Γ υπήρχαν πλέον κείμενα τόσο στη διεθνή όσο και στην ελληνική βιβλιογραφία που αναφέρονταν στη χρήση των ΝΠ στη σχολική τάξη.

2. Από την έρευνα διαπιστώθηκε ότι οι συγγραφείς των σχολικών εγχειριδίων φυσικής χρησιμοποιούν τα ΝΠ για τους παρακάτω λόγους:

- Χρήση Α. Για να προβλέψουν φαινόμενα, γεγονότα ή καταστάσεις και γενικότερα να οδηγηθούν σε συμπεράσματα εφαρμόζοντας νόμους που προηγουμένως είχαν παρουσιάσει (π.χ. εφαρμόζουν το 2<sup>ο</sup> νόμο του Νεύτωνα σε ένα παιδί που βρίσκεται εντός θαλάμου που πέφτει ελεύθερα και οδηγούνται έτσι στις συνθήκες έλλειψης βαρύτητας σε δορυφόρο). (56,5%)

- Χρήση Β. Για να διατυπώσουν νόμους, αρχές και γενικότερα προτάσεις βασιζόμενοι στα αποτελέσματα ενός ΝΠ. (26%)

- Χρήση Γ. Για να διαπιστώσουν προβλήματα σε παλαιότερη θεωρία, την οποία αναφέρουν με τη μορφή ιστορικής αναδρομής και στη κατόπιν να διατυπώσουν μια νέα θεωρία (π.χ. να διαπιστώσουν προβλήματα που παρουσιάζονται στην αριστοτελική θεωρία για την κίνηση και στη συνέχεια να διατυπώσουν το νόμο της αδράνειας). (17,5%)

Οι παραπάνω τρεις χρήσεις Α,Β,Γ των ΝΠ που εντοπίστηκαν στα εγχειρίδια αντιστοιχούν κατά σειρά στις κατηγορίες μεσολαβητικά - εποικοδομητικά ΝΠ, άμεσα - εποικοδομητικά ΝΠ και πλατωνικά ΝΠ της ταξινόμησης κατά Brown (1991).

Παρατηρείται μια σαφής προτίμηση των συγγραφέων στην χρήση Α. Επίσης φαίνεται ότι οι συγγραφείς δεν χρησιμοποιούν καταστρεπτικά ΝΠ (τα πλατωνικά ΝΠ είναι ταυτόχρονα καταστρεπτικά και άμεσα - εποικοδομητικά ΝΠ) καθώς και υποθετικά ΝΠ, όπως ο κουβάς του Νεύτωνα. Αυτό το εύρημα αποτελεί διαπίστωση και άλλης έρευνας (Velentzas, Halkia, Skordoulis 2005a) στην οποία ερευνηθήκαν τα ΝΠ που εμπεριέχονται σε εγχειρίδια τα οποία παρουσιάζουν θεωρίες της φυσικής του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Για τους συγγραφείς των εγχειριδίων φαίνεται να είναι εκπαιδευτικά επωφελέστερο το να επικεντρώνονται στις θεωρίες που θέλουν να παρουσιάσουν από το να αναφέρουν τον τρόπο σκέψης κάποιων επιστημόνων, οι οποίοι άσκησαν κριτική σε υπάρχουσες θεωρίες ή ανέπτυξαν προβληματισμό για τις συνέπειες αυτών των θεωριών. Δηλαδή, χρησιμοποιούν τα ΝΠ για να παρουσιάσουν κάποιες θεωρίες, αλλά δεν τα χρησιμοποιούν προκειμένου να δείξουν τη φύση της επιστήμης.

3. Οι λόγοι μη διεξαγωγής στην πραγματικότητα των «πειραματικών» διαδικασιών που αναφέρονται στα ερευνηθέντα ΝΠ βρέθηκε ότι είναι οι παρακάτω:

(I) Η πραγματοποίηση του «πειράματος» είναι αδύνατη (65,3%) επειδή:

(α) δεν υπάρχει η κατάλληλη τεχνολογία, τουλάχιστο ως τώρα

(β) το «πείραμα» δεν μπορεί να λάβει χώρα στο καθημερινό περιβάλλον του μαθητή (π.χ. ένας αστροναύτης σε τροχιά γύρω από τη Γη).

(γ) απαιτείται ένας φανταστικός κόσμος (π.χ. ένα οριζόντιο δάπεδο χωρίς τριβές με άπειρες διαστάσεις ή κόσμος χωρίς βαρύτητα) (30,6%)

(II) Δεν πραγματοποιούνται λόγω επικινδυνότητας ή μεγάλων υλικών ζημιών (π.χ. αφήνεται να πέσει από μεγάλο ύψος ένας θάλαμος με ένα μαθητή μέσα). (21,7%)

(III) Η πραγματοποίηση δεν προσφέρει κάτι στο επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, το οποίο επιτυγχάνεται μόνο με λογικούς συλλογισμούς (π.χ. η αίσθηση της βαρύτητας που έχει ένα έντομο ευρισκόμενο στον πυθμένα ενός κουτιού, το οποίο περιστρέφει ένας μαθητής) (13%)

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αν θέλουμε να ταξινομήσουμε τα ΝΠ των εγχειριδίων φυσικής ανάλογα με τους λόγους για τους οποίους αυτά δεν διεξάγονται στην πράξη, η ταξινόμηση του Sorensen (1992) είναι επαρκής. Τα ΝΠ των παραπάνω κατηγοριών I, II και III αντιστοιχούν κατά σειρά στα ΝΠ Impossible, Unaffordables και Unimprovable της ταξινόμησης του Sorensen.

4. Το 47,8% των ΝΠ που εντοπίστηκαν έχουν σαν βάση ιστορικά ΝΠ. Πιο συγκεκριμένα

-στα 4 εγχειρίδια (B,Γ,Δ,E) αναφέρονται ΝΠ για την εισαγωγή του νόμου της αδράνειας που βασίζονται στα ΝΠ του Γαλλαίου (1638/1914). Γίνεται ιστορική αναφορά και στις τέσσερις περιπτώσεις, ενώ στις δύο περιπτώσεις το ΝΠ είναι σχεδόν αναπαραγωγή του ιστορικού.

-στα 3 εγχειρίδια (B,Δ,E) περιγράφεται το ιστορικό πείραμα με το «κανόνι του Νεύτωνα». Γίνεται ιστορική αναφορά και στις τρεις περιπτώσεις και μάλιστα υπάρχει και το σκίτσο από το αντίστοιχο βιβλίο του Νεύτωνα (1729/1962). Η περιγραφή είναι πολύ κοντά στην περιγραφή του ιστορικού πειράματος και στις δύο μάλιστα περιπτώσεις μεταφράζεται τμήμα από το κείμενο του Νεύτωνα.

-στα 4 εγχειρίδια (A,B,Γ,E) περιγράφονται ΝΠ που έχουν σα βάση το ΝΠ «ανεγκυστήρας του Αϊνστάιν» (Einstein 1917/1961, Einstein & Infeld 1938). Σε καμία περίπτωση δεν γίνεται ιστορική αναφορά και ούτε η περιγραφή είναι αντίστοιχη με την περιγραφή του ιστορικού ΝΠ. Αυτό μάλλον εξηγείται από το γεγονός ότι στα ερευνηθέντα κεφάλαια οι συγγραφείς χρησιμοποιούν το ΝΠ για να εξηγήσουν τις συνθήκες έλλειψης βαρύτητας και όχι την αρχή της ισοδυναμίας. Σε μία μόνο περίπτωση (εγχειρίδιο Γ) γίνεται αναφορά στην ισοδυναμία επιτάχυνσης και έντασης του βαρυτικού πεδίου, αλλά σε αυτή την περιγραφή ο θάλαμος του ιστορικού ΝΠ έχει μετατραπεί σε διαστημόπλοιο. Αυτή η διαδικασία του «εκσυγχρονισμού» των συσκευών των ιστορικών ΝΠ ανάλογα με την τεχνολογική εξέλιξη είναι μια διαδικασία που συνηθίζεται από τους συγγραφείς των εγχειριδίων αλλά και από τους συγγραφείς βιβλίων εκλαΐκευσης των θεωριών της φυσικής (Velentzas, Halkia, Skordoulis 2005a).

5. Οι συγγραφείς των εγχειριδίων στο αφήγημα που κατασκευάζουν για να περιγράψουν ένα ΝΠ βάζουν στη θέση του «πειραματιστή» κάποιον ανώνυμο άνθρωπο (παιδί, αστροναύτη κτλ) (43,5%), ή τον ίδιο τον μαθητή/αναγνώστη (39,1%) ή σε μικρότερο βαθμό, κυρίως σε ιστορικά ΝΠ, κάποιον φημισμένο επιστήμονα (17,4%).

6. Στην πλειονότητα των ΝΠ που μελετήθηκαν (74%) οι συγγραφείς δεν χρησιμοποιούν μαθηματικές φόρμες. Στις υπόλοιπες των περιπτώσεων γίνεται χρήση πολύ απλών μαθηματικών σχέσεων που δεν υπερβαίνει σε δυσκολία την εφαρμογή του νόμου  $\Sigma F=ma$  σε μια διάσταση. Αυτό μάλλον δείχνει ότι τα ΝΠ είναι χρήσιμα εργαλεία στην διδασκαλία της φυσικής ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που αυτή επικεντρώνεται στην κατανόηση των εννοιών και όχι στη χρήση και την εφαρμογή της μαθηματικής μορφής των νόμων της φυσικής. Αυτό ίσως ερμηνεύει και το γεγονός ότι στο εγχειρίδιο E γίνεται πιο εκτεταμένη χρήση ΝΠ από ότι στα άλλα ερευνηθέντα εγχειρίδια.

7. Σε όλες τις περιπτώσεις παρουσίασης ΝΠ (πλην μιας) οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν μια ή περισσότερες εικόνες. Οι εικόνες ανάλογα με τη χρήση τους ταξινομήθηκαν ως ακολούθως:

-Εικόνες που υποβοηθούν το μαθητή να φανταστεί ένα σκηνικό που ξεπερνά την εμπειρία του. (37,5%)

-Εικόνες που αναφέρονται στην καθημερινή εμπειρία των μαθητών. Χρησιμοποιούνται απλά για την υποβοήθηση της κατανόησης του κειμένου με τη χρήση κάποιων υποβοηθητικών στοιχείων (π.χ. ένα βελάκι που δείχνει την κατεύθυνση κίνησης) ή δείχνοντας λεπτομέρειες που δεν μπορεί να φανούν με τις αισθήσεις (π.χ. το βλήμα ενός όπλου το οποίο έχει εκपुरσοκροτήσει). (40,6%)

-Εικόνες στις οποίες απεικονίζονται τα συναισθήματα κάποιου ή γενικότερα η κατάσταση στην οποία βρίσκεται αυτός. Για παράδειγμα, ένα σκίτσο που δείχνει κάποιον άνθρωπο μέσα σε θάλαμο που πέφτει ελεύθερα και με τις κατάλληλες εκφράσεις ο αναγνώστης βοηθιέται να κατανοήσει το πώς νοιώθει αυτός ο άνθρωπος. (12,5%)

-Ιστορικές εικόνες, δηλαδή εικόνες που υπάρχουν σε βιβλία που εξέδωσαν οι επιστήμονες που επινόησαν τα ΝΠ. (9,4%)

8. Παρατηρήθηκε ότι οι συγγραφείς των εγχειριδίων φυσικής χρησιμοποιούν κυρίως ΝΠ για να παρουσιάσουν νόμους ή θεωρίες για την κατανόηση των οποίων απαιτείται η νοητική

υπέρβαση της καθημερινής εμπειρίας. Πράγματι, τα θέματα στα οποία οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ΝΠ τουλάχιστο στα τρία από τα πέντε εγχειρίδια είναι

- ο νόμος της αδράνειας (5/5),
- οι συνθήκες έλλειψης βαρύτητας (4/5)
- η δορυφοροποίηση σώματος (3/5).

## Συμπέρασμα

Από την έρευνα προέκυψε ότι:

- Τα ΝΠ αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των σχολικών εγχειριδίων φυσικής.
- Οι συγγραφείς των σχολικών εγχειριδίων χρησιμοποιούν τα ΝΠ ως ένα διδακτικό εργαλείο προκειμένου να παρουσιάσουν στους μαθητές νόμους και αρχές της φυσικής και ιδιαίτερα όταν η κατανόηση των αντίστοιχων εννοιών απαιτεί από το μαθητή να υπερβεί νοητικά την καθημερινή του εμπειρία.
- Οι συγγραφείς των σχολικών εγχειριδίων επινοούν οι ίδιοι ΝΠ, αλλά επίσης αξιοποιούν και ιστορικά ΝΠ τα οποία πολλές φορές διαμορφώνουν κατάλληλα ώστε να είναι ελκυστικά στους μαθητές.
- Σε μεγαλύτερο βαθμό (από τα ερευνηθέντα εγχειρίδια) έγινε χρήση ΝΠ από το συγγραφέα του εγχειριδίου που χρησιμοποιεί κώδικες παρόμοιους με αυτούς που χρησιμοποιούνται στα βιβλία εκλαΐκευσης της επιστήμης χωρίς ιδιαίτερη χρήση μαθηματικού φορμαλισμού ή περίπλοκων εργαστηριακών συσκευών.

Χρειάζεται αρκετή ακόμα έρευνα πριν διατυπωθεί ένα οριστικό συμπέρασμα, αλλά και τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, όπως και άλλων ερευνών (Velentzas, Halkia, Skordoulis 2005b, Βελέντζας, Χαλκιά 2006, Reiner, Gilbert 2000) κατατείνουν στο συμπέρασμα ότι τα ΝΠ εκτός από σημαντικό εργαλείο των επιστημόνων αποτελούν και αποτελεσματικό εργαλείο για τη διδασκαλία των ΦΕ και ιδιαίτερα για τη διδασκαλία νόμων των οποίων η κατανόηση απαιτεί από τους μαθητές να υπερβούν νοητικά την καθημερινή τους εμπειρία.

## Βιβλιογραφία

- Βελέντζας Α., Χαλκιά Κ., (2006) Η αξιοποίηση των νοητικών πειραμάτων στη διδασκαλία της φυσικής με τη χρήση βιβλίων εκλαΐκευσης της επιστήμης. Η περίπτωση του μικροσκοπίου του Heisenberg. 3ο Πανελλήνιο συνέδριο της Ένωσης για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Βόλος 7-9 Απριλίου 2006.
- Βλάχος Ι., Γραμματικάκης Ι., Καραπαναγιώτης Β., Κόκκοτας Π., Περιστερόπουλος Π. & Τιμοθέου Γ.: (2003), Φυσική Γενικής Παιδείας, Α΄ Ενιαίου Λυκείου. Έκδοση Ε, Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα
- Δαπόντες, Ν., Κασσέτας, Α.(1998) Φυσική Α΄ τάξη Ενιαίου Λυκείου. Έκδοση Α΄ (αναμορφωμένη), Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα
- Κόκκοτας, Π., Κρέμος, Δ.: (1990) Φυσική Α΄ Λυκείου. Έκδοση ΣΤ΄, Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα
- 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
- Einstein, A., Infeld, L.: (1938) The Evolution of Physics, Simon and Schuster, New York
- Galileo, G.: (translated by Crew H., Salvio A) (1638/1914) Dialogue Concerning Two New Sciences, Dover, New York
- Gendler, T.: (2000) Thought Experiments. In Thinking skills pp. 388-394
- Gilbert, J. and Reiner, M.: (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization, International Journal of Science Education, 22(3), 265-283

- Haber-Shaim U., Dodge J., Walter J.: (1992), PSSC Φυσική, (μετάφραση Κωστίκας Θ.), έκτη έκδοση, Ευγενίδιο ίδρυμα, Αθήνα.
- Hewitt, P.: (1994) Οι έννοιες της Φυσικής, τόμος I, (μετάφραση Σηφάκη Ε.), Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- 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.
- 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
- Newton, I. (translated by Motte A. 1729/ 1962b) Mathematical principles of natural philosophy and his system of the world, Volume two: the system of the world, University of California press.
- 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 and Gilbert, J.: (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning, International Journal of Science Education, v 22, n 5 pp. 489-506
- Sorensen, R.: (1992) Thought Experiments, Oxford University Press, New York and London.
- Velentzas A., Halkia K., Skordoulis C.: (2005a), Thought experiments in the theory of relativity and in quantum mechanics: Their presence in textbooks and in popular science books. Science & Education: <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-006-9030-1>
- Velentzas A., Halkia K., Skordoulis C.: (2005b), Thought experiments in physics theories of the 20<sup>th</sup> century: A tool for popularization and teaching in secondary education. Proceedings of the ESERA 2005 conference, Barcelona.