

Νοητικά πειράματα: Η παρουσίασή τους στο διαδίκτυο.

Έρευνα για την παρουσίασή τεσσάρων νοητικών πειραμάτων στο διαδίκτυο με σκοπό την αξιοποίησή τους στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Αθανάσιος Βελέντζας<sup>1</sup>, Ιωάννα Σπηλιοπούλου<sup>2</sup>, Κρυσταλλία Χαλκιά<sup>3</sup>, Κωνσταντίνος Σκορδούλης<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Φυσικός MSc, καθηγητής μέσης εκπ/σης, [avelentz@gmail.com](mailto:avelentz@gmail.com)

<sup>2</sup> Φυσικός, μεταπτυχιακή φοιτήτρια Π.Τ.Δ.Ε, καθηγήτρια μέσης εκπ/σης, [nellies@in.gr](mailto:nellies@in.gr)

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

<sup>4</sup> Π.Τ.Δ.Ε. Παν/μιο Αθηνών, [kskordul@primedu.uoa.gr](mailto:kskordul@primedu.uoa.gr)

## Περίληψη

Τα νοητικά πειράματα (ΝΠ) έχουν διαδραματίσει ένα σπουδαίο ρόλο στις Φυσικές Επιστήμες (ΦΕ) και μπορεί να αποτελέσουν ισχυρό εργαλείο για τη διδασκαλία των ΦΕ, γιατί ευνοούν τη δημιουργική σκέψη, τη φαντασία, τη διατύπωση υποθέσεων και εξοικειώνουν τους μαθητές με τη μεθοδολογία της επιστήμης. Παρόλα αυτά σήμερα αξιοποιούνται εκπαιδευτικά σε μικρότερο βαθμό από τον αναμενόμενο.

Στην παρούσα εργασία, αφού μελετήθηκε η σχετική με τα ΝΠ διεθνής βιβλιογραφία και εντοπίστηκαν τα σημαντικότερα από αυτά στις αυθεντικές ιστορικές τους πηγές, αξιοποιήθηκε το διαδίκτυο ως πεδίο έρευνας για την μελέτη των τρόπων με τους οποίους παρουσιάζονται τέσσερα από τα πιο γνωστά νοητικά πειράματα, με απώτερο στόχο την εκπαιδευτική τους αξιοποίηση.

## Τα νοητικά πειράματα και ο ρόλος τους στις Φυσικές Επιστήμες

Τα ΝΠ είναι πειράματα που απαιτούν την αξιοποίηση υψηλών νοητικών δεξιοτήτων (Mach 1896/1976). Διερευνούν ένα θέμα σχεδιάζοντας και εκτελώντας ένα πείραμα νοητικά, χωρίς να απαιτείται η εκτέλεσή του στην πράξη (Sorensen 1992).

Τα ΝΠ ( thought experiments ή όπως έχουν επικρατήσει ιστορικά ως gedankenexperiment) έχουν διαδραματίσει ένα σπουδαίο ρόλο στην εξέλιξη των ΦΕ.

ΝΠ όπως οι συνδεδεμένες μπάλες του Γαλιλαίου που εκτελούν ελεύθερη πτώση (Galileo

1638/1914), ο κάδος και το κανόνι του Νεύτωνα (Newton 1729/1962 α και β), ο ανελκυστήρας του Αϊνστάιν (Einstein and Infeld 1938), ο δαίμονας του Maxwell (Maxwell 1871/2001), το μικροσκόπιο του Heizenberg (Heizenberg 1930/1949), η γάτα του Schrodinger (Schrodinger 1935/1983), το πείραμα των E.P.R (Einstein et al. 1935) και τόσα άλλα, έχουν αποδειχθεί δημοφιλή στην κοινότητα των φυσικών διότι έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της Φυσικής. Τα ΝΠ έχουν χρησιμοποιηθεί είτε για τον εντοπισμό των αντιφάσεων των φυσικών θεωριών, είτε για την ανατροπή τους, είτε για την τροποποίησή τους, είτε για τη διατύπωση νέων θεωριών ή ακόμη και για την εκλαΐκευση αυτών των θεωριών.

Το ΝΠ αξιοποιεί τη φαντασία, συνήθως υπερβαίνει την καθημερινή εμπειρία διότι δεν υπόκειται σε φυσικούς περιορισμούς και ως εκ τούτου συχνά είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί (Sorensen 1992). Ένα ΝΠ επιτρέπει νοητικά να αφαιρεθούν κάποιες παράμετροι οι οποίες δεν κρίνονται σημαντικές για το φαινόμενο που μελετάται. Για παράδειγμα, όπως αναφέρει ο Mach (1896/1976): «ο νόμος της αδράνειας ανακαλύφθηκε με αφαίρεση: νοητικό πείραμα και συνεχείς παραλλαγές οδήγησαν σε αυτόν»

Κατά τον Kuhn (1977), τα ΝΠ μπορεί να βοηθήσουν τους επιστήμονες να φτάσουν σε νόμους και θεωρίες διαφορετικές από αυτές που ήταν αποδεκτές έως τότε, αποκαλύπτοντας την ασυμφωνία μεταξύ της φύσης και των παραδοσιακών εννοιολογικών συσκευών με τις οποίες οι επιστήμονες ερμηνεύουν τη φύση.

### Ταξινόμηση των νοητικών πειραμάτων

Κατά τους Gilbert και Reiner (2000β), οποιοδήποτε ΝΠ φαίνεται να περιλαμβάνει έξι στοιχεία:

- (1) τη διατύπωση μιας ερώτησης ή μιας υπόθεσης,
- (2) τη δημιουργία ενός φανταστικού κόσμου, που αποτελείται από οντότητες (αντικείμενα, ή νοητικές κατασκευές που λαμβάνονται ως αντικείμενα) οι οποίες μπορεί να συσχετίζονται μεταξύ τους με κάποιον αποδεκτό τρόπο,
- (3) το σχεδιασμό του νοητικού πειράματος,
- (4) τη νοητική εκτέλεση του πειράματος από τον «πειραματιστή»,
- (5) την εξαγωγή αποτελεσμάτων που παράγονται με τη χρήση των νόμων της λογικής.
- (6) τη διατύπωση συμπερασμάτων

Τα παραπάνω στοιχεία τελικά διαμορφώνουν την τυπολογία των νοητικών πειραμάτων. Για τα ΝΠ έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις. Ανάλογα με τη χρήση τους ο Popper (Popper 1959/1999) τα διακρίνει σε ΝΠ που κάνουν κριτική σε υπάρχουσες θεωρίες, ΝΠ που οδηγούν σε καινοτομίες ή ΝΠ που λειτουργούν απολογητικά για μια θεωρία. Η ταξινόμηση που φαίνεται να είναι αποδεκτή σε μεγάλο βαθμό από τους ερευνητές, όπως προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία, είναι αυτή του Brown (1991), ο οποίος ταξινομεί τα ΝΠ ως ακολούθως:

- α) Αποικοδομητικά (destructive) νοητικά πειράματα: Είναι τα πειράματα που περιλαμβάνουν φανταστικά παραδείγματα με σκοπό να δοκιμάσουν την αντοχή μιας υπάρχουσας θεωρίας σε απρόβλεπτες και ακραίες καταστάσεις. Φέρνουν, δηλαδή, στην επιφάνεια θεωρητικές αδυναμίες και μπορεί να οδηγήσουν στην κατάρριψη μιας θεωρίας.(π.χ. η γάτα του Schrodinger)
- β) Εποικοδομητικά (constructive) νοητικά πειράματα: Είναι τα πειράματα που βοηθούν στην καθιέρωση μιας θεωρίας και χωρίζονται σε:
  - β1. μεσολαβητικά (mediative) νοητικά πειράματα, τα οποία διευκολύνουν την εξαγωγή συμπερασμάτων από μια θεωρία (π.χ. Δαίμονας του Maxwell)
  - β2. υποθετικά (conjectural) νοητικά πειράματα, τα οποία οδηγούν σε υποθέσεις για την ερμηνεία μιας θεωρίας και στοχάζονται για τα φαινόμενα (π.χ. ο κάδος του Νεύτωνα)
  - β3. άμεσα (direct) νοητικά πειράματα, τα οποία οδηγούν άμεσα στην παραγωγή μιας θεωρίας (π.χ. κεκλιμένα επίπεδα του Stevin).
- γ) Πλατωνικά νοητικά πειράματα: είναι τα πειράματα που είναι ταυτόχρονα καταστρεπτικά και άμεσα-εποικοδομητικά και οδηγούν στην απόρριψη και ανάπτυξη μιας θεωρίας (π.χ. τα σώματα του Γαλιλαίου).

### Τα νοητικά πειράματα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Τα ΝΠ μπορεί να αποτελέσουν ισχυρό εργαλείο για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών διότι, αφενός ευνοούν τη δημιουργική σκέψη, τη διατύπωση υποθέσεων και τη φαντασία, και αφετέρου κατέχουν έναν ιδιαίτερο ρόλο στην Ιστορία των Φ.Ε. Η αξιοποίησή τους στην σχολική τάξη διευκολύνει την εξοικείωση των μαθητών με τη μεθοδολογία της επιστήμης (Gilbert and Reiner 2000β). Ωστόσο ο ρόλος τους στην εκπαίδευση είναι αρκετά παραμελημένος (Lattery 2001).

Στην εκπαίδευση τα ΝΠ μπορούν να λειτουργήσουν με δυο τρόπους:

α) Για τη διαδικασία της πρόβλεψης

Κατά τον Matthews (1994), διδακτικά αξιοποιήσιμα ΝΠ είναι τα πειράματα προβλεπτικού τύπου, τα οποία είναι πειράματα που μπορεί να πραγματοποιηθούν στην τάξη. Στα πειράματα αυτά, ο μαθητής ερωτάται να προβλέψει το αποτέλεσμα και κατόπιν να εκτελέσει το σχετικό πείραμα. Αυτού του είδους τα ΝΠ βοηθούν στην ανάδειξη των ιδεών των μαθητών και συνακόλουθα στην εννοιολογική αλλαγή, εφόσον προκαλούν τη δυσαρέσκεια των μαθητών για τις προηγούμενες αντιλήψεις τους (Helm at al. 1985). Επίσης η πρόβλεψη από τους μαθητές της εξέλιξης μιας πειραματικής διαδικασίας έχει διδακτική αξία διότι δίνει τη δυνατότητα στον δάσκαλο να γνωρίζει αν ελέγχουν οι μαθητές του τις θεμελιώδεις έννοιες μιας θεωρίας. (Mach 1896/1976).

β) Για τη διασαφήνιση μιας θεωρίας

Κάποια ΝΠ επινοήθηκαν για να διευκολύνουν την εκλαΐκευση μιας θεωρίας και την κατανόησή της από το ευρύ κοινό. Τέτοιου είδους ΝΠ επινοήθηκαν από τον Einstein. Πολλά από αυτά τα πειράματα υπάρχουν αυτούσια σε πολλά εγχειρίδια ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τις αναγκαίες, αν χρειαστεί, τροποποιήσεις από το δάσκαλο. Για παράδειγμα σε πολλά διδακτικά βιβλία φυσικής (Serway and Faught 1989) γίνεται με χρήση νοητικών πειραμάτων η εξαγωγή των τύπων της διαστολής του χρόνου και της συστολής του μήκους χωρίς τη χρήση των εξισώσεων των μετασχηματισμών του Lorentz.

Πολλά ΝΠ λειτουργούν σε έναν κόσμο αφαίρεσης, γιατί οι καταστάσεις που περιγράφουν δεν μπορούν να αναπαραχθούν στην πράξη. Συνεπώς, η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί να προσφέρει μεγάλο όφελος στην αξιοποίηση του ΝΠ στην τάξη. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αφαιρούν τα πρακτικά εμπόδια στην παραγωγή και τη δοκιμή των υποθέσεων και επιτρέπουν την προέκταση στις εξιδανικευμένες καταστάσεις, που είναι χαρακτηριστικό των νοητικών πειραμάτων (Matthews 1994).

Ο ρόλος μιας προσομοίωσης βασισμένης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μπορεί να είναι διπλός: Πρώτον θεσπίζει τους κανόνες, τα γεγονότα και τα πειράματα για τον υποθετικό κόσμο και δεύτερον υποστηρίζει τις «προτάσεις αληθείας» και τις λογικές παραγωγές (Reiner 1998). Σε μια τέτοια διδακτική παρέμβαση, ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι κρίσιμος και ουσιαστικός (Πήλιουρας κ.ά. 2002).

Τέλος, τα ΝΠ στην τάξη, σε αντίθεση με αυτά των επιστημόνων, εξελίσσονται ως αποτέλεσμα της συνεργασίας των μαθητών στην επίλυση προβλήματος. Καθένας από τους μαθητές προσθέτει τη δική του πτυχή σε αυτά (Reiner 1998).

### Τα νοητικά πειράματα στο διαδίκτυο - Μεθοδολογία

Το διαδίκτυο αποτελεί ένα απέραντο και οικουμενικό πεδίο, που -μεταξύ άλλων- απεικονίζει τις προσπάθειες των πρωτογενών πηγών παραγωγής γνώσης να εκλαϊκεύσουν την επιστημονική γνώση (Χαλκιά 2004). Μέσω του διαδικτύου είναι εύκολη η απευθείας πρόσβαση σε αυτές τις πηγές, όπως για παράδειγμα σε ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια.

Στην παρούσα εργασία, το διαδίκτυο αξιοποιείται ως πεδίο έρευνας για την μελέτη των τρόπων με τους οποίους παρουσιάζονται τέσσερα από τα πιο γνωστά ΝΠ με απώτερο στόχο την εκπαιδευτική τους αξιοποίηση στην τάξη. Συγκεκριμένα ερευνήθηκαν τα παρακάτω νοητικά πειράματα (αναλυτικότερα στο παράρτημα 1):

- A) Το κανόνι του Νεύτωνα: εξηγεί ότι η περιστροφή της Σελήνης γύρω από τη Γη οφείλεται στην ίδια «κεντρική» δύναμη με αυτή που ασκεί η Γη στα σώματα που βρίσκονται στην επιφάνειά της. (Newton 1729/1962)
- B) Η πτώση των δύο σωμάτων του Γαλιλαίου: αντικρούει την Αριστοτελική άποψη ότι από το ίδιο ύψος, σώματα διαφορετικού βάρους πέφτουν με διαφορετικές ταχύτητες (το βαρύτερο σώμα πέφτει ταχύτερα). (Galileo 1638/1914)
- Γ) Ο ανεγκυστήρας του Αϊνστάιν: δείχνει την ισοδυναμία του βαρυτικού πεδίου με ένα επιταχυνόμενο σύστημα αναφοράς, καθώς και την καμπύλωση του φωτός από βαρυτικά πεδία. (Einstein and Infeld 1938)
- Δ) Το μικροσκόπιο του Χάιζενμπεργκ: ερμηνεύει την αρχή της απροσδιοριστίας (Heisenberg 1930/1949)

Η επιλογή των ανωτέρω ΝΠ έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

α) να εντάσσονται στο υπάρχον αναλυτικό πρόγραμμα: Τα δύο πρώτα μπορούν να αξιοποιηθούν στη Γ΄ Γυμνασίου και στην Α΄ Λυκείου ενώ το τρίτο και το τέταρτο στη Γ΄ Λυκείου. (Είναι εκτός της ύλης των Πανελληνίων αλλά εντός της ύλης που προβλέπεται από το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα).

β) να ανήκουν σε διαφορετικές ενότητες: τα δύο πρώτα ανήκουν στο χώρο της Κλασσικής Μηχανικής, και τα δύο επόμενα στο χώρο της Νεότερης Φυσικής (το τρίτο στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και το τέταρτο στην Κβαντική Φυσική).

γ) να έχουν αποδειχθεί «κρίσιμα» για την εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης, δηλαδή να έχουν παίξει ένα σημαντικό ρόλο στη εξέλιξη των ιδεών στη Φυσικής (ανασκευή της Αριστοτελικής αντίληψης για την κίνηση, ενοποίηση βαρυτικών ελκτικών δυνάμεων, γενική θεωρία σχετικότητας, κβαντική θεωρία)

δ) να ανήκουν σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους (επιστημονικές επαναστάσεις 17<sup>ου</sup> και 20<sup>ου</sup> αιώνα)

Η έρευνα στους δικτυακούς τόπους έγινε από τον Φεβρουάριο του 2004 έως τον Ιούλιο του 2004. Η αναζήτηση έγινε σε συγκεκριμένους δικτυακούς τόπους πανεπιστημίων (Harvard, Stanford, κ.λ.π.) εκπαιδευτικών οργανισμών, όπως και μέσω των μηχανών αναζήτησης Google και scirus.

Κάθε παρουσίαση ΝΠ μελετήθηκε και κατηγοριοποιήθηκε με βάση:

α. το είδος του ΝΠ (ταξινόμηση κατά Brown)

β. τον τρόπο απεικόνισής του στο διαδίκτυο δηλαδή τη μορφή του «λόγου» που χρησιμοποιεί (κείμενο, εικόνες, κινούμενες εικόνες, μαθηματικό φορμαλισμό)

γ. τη δυνατότητα διδακτικής αξιοποίησής του στην τάξη, δηλαδή ο εκπαιδευτικός να μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε τη συνολική παρουσίαση, είτε αποσπασματικά κάποια στοιχεία της, για παράδειγμα μια εικόνα.

δ. τα επίπεδα επικοινωνίας που χρησιμοποιεί κάθε παρουσίαση (με την επιστημονική κοινότητα και τους εκπαιδευτικούς, με το ευρύ κοινό, με τους μαθητές)

ε. τις πηγές από τις οποίες προέρχεται

στ. την πιστότητα στο ιστορικό πλαίσιο διεξαγωγής του ΝΠ.

### Αποτελέσματα - σχολιασμός

Κατά την αναζήτηση μας στο διαδίκτυο βρήκαμε μία πληθώρα δικτυακών τόπων σχετικών με τα ΝΠ. Από την έρευνα συγκεντρώθηκαν 75 δικτυακοί τόποι που επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετικότητα και την πρωτοτυπία τους.

Συγκεκριμένα: 13 δικτυακοί τόποι για το κανόνι του Νεύτωνα, 30 δ.τ. για τα σώματα του Γαλιλαίου που πέφτουν, 22 δ.τ. για τον ανελκυστήρα του Αϊνστάιν και 10 δ.τ. για το μικροσκόπιο του Χάιζενμπεργκ. Από τη μελέτη τους κατασκευάστηκε ο πίνακας:

πείραμα	ταξινο- μηση κατά Brown	ασεικόνιση				επίπεδο επικοινωνίας			διδασ- κακή αξιο- ποίη- ση	πηγές			πιστό- τητα στο ιστο- ρικό πλαί- σιο
		Κεί- με- νο	εικό- να	κινού- μενη εικό- να	μοθη- ματι- κός φορμα- λισμός	επιστη- μονικά εναλλακ- τικούς	Μα- θη- τές	ευρύ κοι- νό		πονε- πιστή - μιο	ηλ. πε- ριο- δικά εφη- με- ρίδες	sites επιστη- μονι- κού περιεχο- μένου	
Νεύτωνα	B3	11	3	7	2	4	12	4	8	3	-	10	3
Γαλι- λαίου	Γ	21	17	6	3	12	20	5	18	11	1	18	10
Einstein	B3	20	12	4	4	10	12	3	9	8	3	11	13
Heise- nberg	B2	10	5	3	10	10	8	-	4	4	-	6	7

Από τον πίνακα εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Οι περισσότεροι δικτυακοί τόποι κάνουν αναφορά στο αντίστοιχο ΝΠ χρησιμοποιώντας κυρίως κείμενο (82,66%) και ακίνητες εικόνες (49,33%). Τα κείμενα αυτά συνήθως περιγράφουν τον τρόπο διεξαγωγής του πειράματος, εξηγούν τους λόγους σχεδιασμού του, παρουσιάζουν κριτικές του πειράματος από κορυφαίους επιστήμονες (π.χ. στην περίπτωση του Νεύτωνα από τους Leibniz και Mach) και σε κάποιους δικτυακούς τόπους που απευθύνονται για εκπαιδευτική αξιοποίηση περιέχουν ερωτήσεις κατανόησης και περιγραφή της «πειραματικής» διαδικασίας. Οι ακίνητες εικόνες περιλαμβάνουν σχήματα που περιγράφουν το πείραμα και φωτογραφίες που εισάγουν στο ιστορικό πλαίσιο της εποχής (π.χ φωτογραφίες των επιστημόνων).
- Η χρήση κινούμενης εικόνας είναι αρκετά περιορισμένη (26,67%) και κυρίως εμφανίζεται στο κανόνη του Νεύτωνα και στα σώματα του Γαλιλαίου. Ειδικότερα στην περίπτωση του Γαλιλαίου, οι προσομοιώσεις (αλλά και οι κειμενικές περιγραφές) ξεφεύγουν από το ιστορικό πλαίσιο, παρουσιάζοντας τον Γαλιλαίο να ρίχνει αντικείμενα διαφόρων μεγεθών και υλικών όχι συνδεδεμένων μεταξύ τους από τον πύργο της Πίζας με ή χωρίς αντίσταση από τον αέρα. Αυτό κατά τη γνώμη μας οφείλεται αφενός μεν στο γεγονός ότι σε πολλά εγχειρίδια προβάλλεται η μη ιστορικά επαληθευμένη ρίψη των σφαιρών από τον πύργο της Πίζας (Matthews 1994) και δεύτερον το πείραμα αυτό καθώς

και το πείραμα με το κανόνι έχουν εισαχθεί σε μεγάλο βαθμό στην εκπαιδευτική διαδικασία και έχουν υποστεί διάφορες τροποποιήσεις για να είναι πιο φιλικές στο μαθητή. Για τα δύο αυτά πειράματα βρέθηκαν και αλληλεπιδραστικές προσομοιώσεις. Για παράδειγμα στο κανόνι του Νεύτωνα δίνεται η δυνατότητα στο μαθητή να επιλέξει διάφορες τιμές ταχύτητας βολής ή στο πείραμα του Γαλιλαίου ο μαθητής μπορεί να επιλέξει ως σημεία ρίψης των σωμάτων γνωστά κτίρια ή κατασκευές.

- Μαθηματικός φορμαλισμός, χρησιμοποιείται στους περισσότερους δικτυακούς τόπους που αναφέρονται στο μικροσκόπιο του Heisenberg, σε αντίθεση με αυτούς που αναφέρονται στα υπόλοιπα τρία πειράματα.
- Η πλειονότητα των δικτυακών τόπων που ερευνήθηκαν απευθύνονται σε μαθητές λυκείου/ φοιτητές (περιλαμβάνουν πειράματα, ερωτήσεις, ιστορικές αναφορές) και σε εγγράμματους επιστημονικά. Λίγοι απευθύνονται στο ευρύ κοινό ή σε μικρούς μαθητές παρουσιάζοντας τα πειράματα με τρόπο εκλαϊκευτικό και με γλώσσα όχι αυστηρά επιστημονική.
- Οι πηγές είναι πανεπιστημιακά ιδρύματα (34,67%) αλλά κυρίως άλλοι δικτυακοί τόποι επιστημονικού-εκπαιδευτικού περιεχομένου (60%). Ελάχιστα είναι τα ηλεκτρονικά περιοδικά ή οι εφημερίδες (5,33%)
- Από το 52%, κατά μέσον όρο, των ερευνηθέντων δικτυακών τόπων μπορεί ο εκπαιδευτικός να χρησιμοποιήσει κάποια στοιχεία για τη διδασκαλία του, απουσιάζουν όμως ολοκληρωμένες διδακτικές προτάσεις με βάση τα ΝΠ. Οι τόποι αυτοί λειτουργούν παιδευτικά και επιμορφωτικά προς τον εκπαιδευτικό, ο οποίος θα πρέπει να μετασχηματίσει τη γνώση που του παρέχεται σε σχολική γνώση για να τη μεταδώσει στους μαθητές του.

## Συμπεράσματα

Το διαδίκτυο προσφέρει έναν μεγάλο αριθμό δικτυακών τόπων σχετικών με τα ΝΠ, όμως οι περισσότεροι από αυτούς απλώς τα περιγράφουν ή αναφέρονται στο ρόλο που έχουν διαδραματίσει αυτά στην ιστορική εξέλιξη των ΦΕ. Δεν φαίνεται ότι ο κύριος προορισμός τους είναι η εκπαιδευτική χρήση. Συνεπώς ο εκπαιδευτικός μπορεί να βρει υλικό, το οποίο όμως πρέπει να μετασχηματίσει προκειμένου να το αξιοποιήσει εκπαιδευτικά. Συγκεκριμένα



- τα δύο πειράματα της κλασικής μηχανικής, που ερευνήθηκαν, προσφέρονται για διδακτική αξιοποίηση στη Γ΄ Γυμνασίου και στην Α΄ Λυκείου στα μαθήματα της ελεύθερης πτώσης και των δορυφόρων. Ο εκπαιδευτικός, ανατρέχοντας στο διαδίκτυο, μπορεί να βρει, αποσπασματικά, υλικό φιλικό προς τους μαθητές, το οποίο μπορεί να εντάξει στο μάθημά του. Αξιόλογες διδακτικές προτάσεις δεν υπάρχουν.
- τα δύο πειράματα που αφορούν στη φυσική του 20<sup>ου</sup> αιώνα μπορούν να ενταχθούν στη διδασκαλία της φυσικής της θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης της Γ΄ Λυκείου στα στοιχεία της γενικής θεωρίας της σχετικότητας και στην αρχή της απροσδιοριστίας. Ανατρέχοντας ο εκπαιδευτικός στο διαδίκτυο μπορεί να βρει ποικιλία εικόνων στον ανελκυστήρα του Einstein και ελάχιστες εικόνες στο μικροσκόπιο του Heisenberg. Διδακτικές προτάσεις αξιόλογες δεν υπάρχουν και εδώ, αλλά μόνο διαλέξεις με τον απαραίτητο μαθηματικό φορμαλισμό.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η εκπαιδευτική αξιοποίηση των νοητικών πειραμάτων στο διαδίκτυο βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, αλλά υπάρχει επαρκές πρόσφορο υλικό, ώστε να οργανωθεί μια προσπάθεια για τη ουσιαστική αξιοποίησή της στην τάξη.

#### Βιβλιογραφικές αναφορές

- Brown J.(1991) *The Laboratory of the Mind Thought Experiments in the Natural Sciences* (London: Routledge).
- Einstein A., Podolsky B., Rosen N. (1935) Can quantum- mechanical description of physical reality be considered complete?, *Physical Review*, v 47, pp. 777-780
- Einstein, A., and 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*
- Gilbert, J. Reiner, M. (2000α). Thought Experiments in Science Education: Potential and Current Realization. *International Journal of Science Education*, v 22, n 3 pp. 265-283.
- Gilbert, J. Reiner, M. (2000β). Epistemological resources for thought experimentation in science education., *International Journal of Science Education*, v 22, n 5 pp. 489-506

- Heisenberg W. (translation by Eckart C., Hoyt F. 1930/ 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.
- Kuhn, T. (1977). A function of thought experiments. In: The Essential Tension Selected studies in scientific tradition and change, *Chicago University Press. pp. 240-265.*
- Lattery, J. M. (2001). Thought Experiments in Physics Education: A Simple and Practical example. *Science and Education*, v 10, n 5, pp. 485-92.
- Mach E (1896/1976) On thought experiment Knowledge and Error (translation 1926 by Cormack T. and Foulkes P.). *Dordrecht, the Netherlands: Reidel, 1976, pp. 134-147.*
- Matthews, M. 1994. "Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science". *Routledge, New York-London.*
- Maxwell J. (1871/ 2001) Theory of Heat, *Dover New York*
- Newton I. (translated by Motte A. 1729/ 1962α) Mathematical principles of natural philosophy and his system of the world, Volume one: the motion of bodies, *University of California press.*
- Newton I. (translated by Motte A. 1729/ 1962β) 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 *The logic of scientific discovery, Routledge pp. 442-456.*
- Reiner, M. (1998). Thought Experiments and Collaborative Learning in Physics. *International Journal of Science Education*, v 20, n 9, pp. 1043-58.
- Schrodinger, E. (1935), Die gegenwertige Situation in der Quantenmechanik, *Die Naturwissenschaften* 23, 807-12, 823-8, 844-9. (Στα Αγγλικά « The Present Situation in Quantum Mechanics» στο *Wheeler and Zurek, 1983, 152-67*)
- Serway R, Faughn J (1989) College Physics (2<sup>nd</sup> edition), USA
- Sorensen R (1992) Thought Experiments. New York and London: *Oxford University Press.*
- Πήλιουρας Π, Μαλαμίτσα Α, , Κόκκοτας Π, Σκορδούλης Κ (2002). Το υποθετικό πείραμα στις ΦΕ και στην εκπαιδευτική διαδικασία. Μια εφαρμογή με τη χρήση της τεχνολογίας. *Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Ε.ΔΙ.Φ.Ε. « Η διδασκαλία των ΦΕ στην κοινωνία της πληροφορίας» 309-316, Αθήνα*
- Χαλκιά Κ., (2004). Ο πολυτροπικός «λόγος» των Φυσικών Επιστημών στο διαδίκτυο Αλληλεπιδράσεις με την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, στο βιβλίο *Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση της Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Ατραπός*