

Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 6, Αρ. 1-2 (2013)



**Ικανότητα προ-υπηρεσιακών εκπαιδευτικών για
ανάλυση απλών φυσικών συστημάτων
αξιοποιώντας το νόμο διατήρησης της ενέργειας**

*Αγγέλα Χατζηγεωργίου, Νίκος Παπαδούρης,
Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου*

Βιβλιογραφική αναφορά:

Χατζηγεωργίου Α., Παπαδούρης Ν., & Κωνσταντίνου Κ. Π. (2013). Ικανότητα προ-υπηρεσιακών εκπαιδευτικών για ανάλυση απλών φυσικών συστημάτων αξιοποιώντας το νόμο διατήρησης της ενέργειας. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 6(1-2), 3-17. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44528>

Ικανότητα προ-υπηρεσιακών εκπαιδευτικών για ανάλυση απλών φυσικών συστημάτων αξιοποιώντας το νόμο διατήρησης της ενέργειας

Αγγέλα Χατζηγεωργίου, Νίκος Παπαδούρης, Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου
hadjigeorgiou.angela@ucy.ac.cy, npapa@ucy.ac.cy, c.p.constantinou@ucy.ac.cy

Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Περίληψη: Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι προ-υπηρεσιακοί εκπαιδευτικοί εκτιμούν την ενέργεια ως ένα πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων και στον εντοπισμό των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν στην προσπάθειά τους να αναλύσουν ενεργειακά, απλά συστήματα. Για το σκοπό αυτό έχουν συλλεχθεί δεδομένα χρησιμοποιώντας τρία έργα αξιολόγησης ανοικτού τύπου τα οποία αφορούν στην εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας σε απλά συστήματα. Στην έρευνα συμμετείχαν 190 φοιτητές του Τμήματος Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Κύπρου. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν τον ισχυρισμό που διατυπώνεται στη βιβλιογραφία για ανεπαρκή κατανόηση των εκπαιδευτικών για την ενέργεια. Επίσης, καταδεικνύουν συγκεκριμένες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Στην εργασία συζητούνται οι συνέπειες που φαίνονται να απορρέουν σχετικά με την επιμόρφωση και προετοιμασία των εκπαιδευτικών, ώστε να μπορούν να οργανώνουν και να διαχειρίζονται επιτυχώς μαθησιακά περιβάλλοντα για τη διδακτική επεξεργασία της ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: Εννοιολογική κατανόηση, ενέργεια, εκπαίδευση εκπαιδευτικών

Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί βασική μαθησιακή επίδωξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών (AAAS, 1993; NRC, 2012; Saderholm & Tretter, 2008) ξεκινώντας από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Αναγνωρίζεται ως μια πυρηνική έννοια (core concept) που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την οργάνωση μαθησιακών δραστηριοτήτων που εκτείνονται στο εύρος των βαθμίδων της βασικής εκπαίδευσης (NRC, 2012) παρέχοντας ευκαιρίες σταδιακής εμπάθυνας. Παρά τη σημασία της ενέργειας, η υφιστάμενη ερευνητική βιβλιογραφία καταδεικνύει την ελλιπή εννοιολογική κατανόηση των μαθητών για την ενέργεια (Driver & Warrington, 1985; Duit, 1984; Solomon, 1992; Liu & McKeough, 2005).

Η αποτελεσματική διδακτική διαχείριση αυτής της μαθησιακής επίδωξης στηρίζεται σε διάφορες προϋποθέσεις. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στην κατάλληλη προετοιμασία των εκπαιδευτικών, ως μιας από αυτές τις προϋποθέσεις (Duschl et al., 2007). Προφανώς, για να μπορούν οι εκπαιδευτικοί να συνεισφέρουν στην προσπάθεια προώθησης οποιασδήποτε μαθησιακής επίδωξης, περιλαμβανομένης της κατανόησης για την ενέργεια, προϋποτίθεται ότι οι ίδιοι διαθέτουν επαρκή κατανόηση. Αυτό επιτρέπει να οικοδομήσουν την αυτοπεποίθηση που απαιτείται για να μπορούν να διαχειρίζονται αποτελεσματικά και με σχετική ευχέρεια και ευελιξία το μαθησιακό περιβάλλον και τις συζητήσεις που αναπτύσσονται σε αυτό (McDermott et al., 2000). Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην κατανόηση των εκπαιδευτικών για το νόμο διατήρησης της ενέργειας, ο οποίος συνήθως αποτελεί το σημείο εστίασης του συμβατικού προτύπου διδασκαλίας. Ειδικότερα, επιχειρείται (α) η διερεύνηση της ικανότητας των προ-υπηρεσιακών εκπαιδευτικών να

εφαρμόζουν το νόμο διατήρησης της ενέργειας στην ανάλυση απλών φυσικών συστημάτων και (β) η καταγραφή και τεκμηρίωση σχετικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν.

Υφιστάμενη Τεχνογνωσία

Κατανόηση εκπαιδευτικών για την ενέργεια

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία καταδεικνύει την ελλιπή κατανόηση των εκπαιδευτικών για την ενέργεια. Ειδικότερα, φανερώνει συγκεκριμένες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν, όπως (α) η τάση για αντιμετώπιση της ενέργειας ως υλικής οντότητας, η οποία ενυπάρχει στα αντικείμενα (κυρίως έμβια), και (β) η αδιαφοροποίητη χρήση του όρου ενέργεια και όρων που αντιστοιχούν σε άλλα φυσικά μεγέθη (π.χ. δύναμη, ηλεκτρικό ρεύμα) (Kruger, 1990; Kruger et al., 1992; Trumper, 1998). Επιπρόσθετα, αναδεικνύει την αβεβαιότητα και ευμεταβλητότητα που χαρακτηρίζει τις αντιλήψεις τους για την ενέργεια. Για παράδειγμα, στο πλαίσιο συνεντεύξεων παρατηρήθηκε ότι οι εκπαιδευτικοί τείνουν να αλλάζουν ή να αναπροσαρμόζουν με σχετική ευκολία τις απαντήσεις τους καθώς εξελίσσεται η συζήτηση (Kruger, 1990).

Τα ερευνητικά δεδομένα που έχουν καταγραφεί σε σχέση με τις ιδιότητες της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας, οι οποίες αποτελούν την περιοχή εστίασης της παρούσας εργασίας, φανερώνουν επίσης ελλιπή κατανόηση. Συνοπτικά, εισηγούνται την αδυναμία των εκπαιδευτικών να εφαρμόσουν το νόμο διατήρησης σε απλά συστήματα και την τάση τους να διαμορφώνουν εσφαλμένες ερμηνείες για το περιεχόμενό του. Ενδεικτικά, μια τέτοια ερμηνεία στηρίζεται στην πεποίθηση ότι κάθε σώμα διατηρεί πάντοτε αποθηκευμένη μία σταθερή ποσότητα ενέργειας (Kruger, 1990; Tobin et al., 2011). Αυτή η ερμηνεία, ενδεχομένως απορρέει από τη συνήθη διατύπωση του νόμου ότι η ενέργεια δεν παράγεται και δεν καταστρέφεται και την τάση τους να την εφαρμόζουν στο κάθε μεμονωμένο αντικείμενο. Μια άλλη προβληματική ερμηνεία του νόμου διατήρησης, η οποία συζητείται στη βιβλιογραφία, καθορίζει ότι η ενέργεια δεν προϋπάρχει αλλά παράγεται όταν απαιτηθεί για την υλοποίηση μιας διεργασίας (Kruger, 1990; Trumper, 1998). Αντίστοιχα, στην περίπτωση της υποβάθμισης της ποιότητας της ενέργειας, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται ανεπαρκή κατανόηση της ιδέας ότι σε κάθε σύστημα συμβαίνουν μη-επιδωκόμενες μεταβολές με αποτέλεσμα η ενέργεια να μετατρέπεται σε μορφές υποβαθμισμένης ποιότητας (Summers et al., 1998; Trumper, 1998).

Παρά τα ενδιαφέροντα ευρήματα που έχουν προκύψει σε σχέση με την κατανόηση εκπαιδευτικών για τις ιδιότητες της ενέργειας να διατηρείται σε ποσότητα και να υποβαθμίζεται σε ποιότητα είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η έρευνα σε αυτή την περιοχή είναι περιορισμένη και υπάρχει ανάγκη για εστίαση ερευνητικών προσπαθειών σε αυτή την κατεύθυνση, ώστε να διερευνηθούν και να περιγραφούν σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών και οι σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Η παρούσα έρευνα συνδέεται άμεσα με αυτή την ανάγκη αφού επιχειρεί μια συστηματική αξιολόγηση της κατανόησης προ-υπηρεσιακών εκπαιδευτικών, με έμφαση στην καταγραφή συγκεκριμένων δυσκολιών που αντιμετωπίζουν στην προσπάθειά τους να αναλύσουν ενεργειακά, απλά συστήματα. Επιπλέον, διερευνάται ο βαθμός στον οποίο εκτιμούν την ενέργεια ως ένα πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων που επιτρέπει τη διατύπωση προβλέψεων και ερμηνειών για τη λειτουργία απλών συστημάτων.

Συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα στα οποία απευθύνεται η εργασία είναι τα ακόλουθα:

- Σε ποιο βαθμό μπορούν οι προ-υπηρεσιακοί εκπαιδευτικοί να εφαρμόζουν το νόμο διατήρησης της ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων;

- Σε ποιο βαθμό εκτιμούν την τάση της ενέργειας να υποβαθμίζεται σε μορφές που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν εύκολα;
- Ποιες δυσκολίες αντιμετωπίζουν σε σχέση με τη διατήρηση και υποβάθμιση της ενέργειας;
- Σε ποιο βαθμό εκτιμούν την ενέργεια ως ένα πλαίσιο ανάλυσης της συμπεριφοράς συστημάτων;

Μεθοδολογία

Συμμετέχοντες

Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 198 φοιτητές του Τμήματος Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Κύπρου που φοίτησαν σε τέσσερα διαφορετικά, συνεχόμενα, εξάμηνα σε συγκεκριμένο μάθημα περιεχομένου των Φυσικών Επιστημών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η εισδοχή στο συγκεκριμένο τμήμα είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστική και προϋποθέτει τη συγκέντρωση ιδιαίτερα υψηλής βαθμολογίας στις εισαγωγικές εξετάσεις. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι οι συμμετέχοντες είναι άτομα σχετικά υψηλής ακαδημαϊκής επίδοσης.

Μέσα συλλογής δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τρία έργα αξιολόγησης ανοικτού τύπου. Το πρώτο αναφέρεται στο σύστημα μίας χορτοκοπτικής μηχανής που τίθεται εκτός λειτουργίας μετά τη χρήση της για την περιποίηση του κήπου. Παρουσιάζονται στους συμμετέχοντες δύο διαφορετικές ερμηνείες του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζεται σε αυτό το σύστημα ο νόμος διατήρησης της ενέργειας και τους ζητείται να αιτιολογήσουν κατά πόσο συμφωνούν ή διαφωνούν με την καθεμιά. Η πρώτη καθορίζει ότι η συνολική ποσότητα της ενέργειας διατηρείται πάντοτε σταθερή, αλλά μετατρέπεται από μία μορφή σε άλλη και κάθε νέα μορφή έχει τη δυνατότητα στη συνέχεια, να προκαλέσει νέες μεταβολές. Η δεύτερη στηρίζεται στη λανθασμένη θέση ότι η ενέργεια διατηρείται σταθερή υπό την έννοια ότι το «έλλειμμα» ενέργειας που φαίνεται να προκύπτει όταν τίθεται εκτός λειτουργίας η μηχανή, αντιστοιχεί με το προϊόν που έχει επιτευχθεί (περιποίηση γρασιδιού). Μια έγκυρη απάντηση θα απέρριπτε και τις δύο ερμηνείες επισημαίνοντας την ασυμβατότητα της πρώτης με την ιδιότητα της ενέργειας να υποβαθμίζεται σε ποιότητα και τη διαστρέβλωση του νόμου διατήρησης που προβάλλεται στη δεύτερη.

Το δεύτερο έργο αξιολόγησης αναφέρεται σε ένα εργάτη που χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρικό τρυπάνι, το οποίο λειτουργεί με μπαταρίες, για να τρυπήσει έναν τοίχο και ζητά από τους συμμετέχοντες να συγκρίνουν την ποσότητα της ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σύστημα (α) πριν τεθεί σε λειτουργία το τρυπάνι, (β) καθώς βρίσκεται σε λειτουργία, και (γ) όταν τερματιστεί η λειτουργία του από τον εργάτη. Αυτό το έργο αξιολογεί το βαθμό στον οποίο οι συμμετέχοντες μπορούν να εφαρμόσουν με έγκυρο τρόπο το νόμο διατήρησης της ενέργειας σε απλά συστήματα.

Το τρίτο έργο αξιολόγησης αναφέρεται στο σύστημα μίας λαστιχένιας, συμπαγούς μπάλας η οποία αφήνεται να πέσει από συγκεκριμένο ύψος (1.5 m), σε μια λεία επιφάνεια και ακολούθως αναπηδά. Ζητείται από τους συμμετέχοντες να αιτιολογήσουν κατά πόσο είναι εφικτά τρία διαφορετικά σενάρια αναφορικά με το ύψος στο οποίο φτάνει η μπάλα μετά την αναπήδησή της: (α) ίσο με το αρχικό ύψος (θα ίσχυε μόνο σε ιδανικές συνθήκες), (β) μεγαλύτερο από το αρχικό ύψος (δεν μπορεί να συμβεί διότι απαγορεύεται από το νόμο διατήρησης της ενέργειας) ή (γ) μικρότερο από το αρχικό ύψος (ισχύει σε πραγματικές συνθήκες λόγω της τάσης της ενέργειας να κατανέμεται σε περισσότερα μέρη του

συστήματος και να υποβαθμίζεται σε ποιότητα). Αυτό το έργο αξιολόγησης επιδιώκει τη διερεύνηση τόσο του βαθμού στον οποίο οι συμμετέχοντες εκτιμούν την ενέργεια ως ένα πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων όσο και την ικανότητά τους να εφαρμόζουν αυτό το πλαίσιο για να διατυπώσουν έγκυρες προβλέψεις.

Στον Πίνακα 1 φαίνεται ο αριθμός των συμμετεχόντων που απάντησαν στα τρία έργα αξιολόγησης. Η διακρίμανση που παρουσιάζεται οφείλεται σε δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι το δεύτερο έργο αξιολόγησης, για το οποίο ο αριθμός των απαντήσεων είναι σημαντικά μικρότερος, δεν είχε χορηγηθεί στα δύο πρώτα εξάμηνα. Ο δεύτερος λόγος αφορά στη μικρή διακρίμανση που παρατηρείται ανάμεσα στα υπόλοιπα δύο έργα αξιολόγησης. Αυτή η διακρίμανση οφείλεται στο γεγονός ότι τα έργα αξιολόγησης δεν χορηγήθηκαν την ίδια μέρα και έτσι κάποιοι συμμετέχοντες που απουσίαζαν δεν συμμετείχαν στη συλλογή δεδομένων.

Εγκυρότητα περιεχομένου - Αξιοπιστία εργαλείων συλλογής δεδομένων

Τα έργα αξιολόγησης κρίθηκαν από δύο ακαδημαϊκούς με διδακτορικό τίτλο στη φυσική και εκτεταμένη ερευνητική εμπειρία στη διδακτική των φυσικών επιστημών, προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα του περιεχομένου τους. Η αξιοπιστία τους διερευνήθηκε μέσα από την πιλοτική χορήγησή τους σε μικρό αριθμό φοιτητών (που δεν συμμετείχαν στο δείγμα της παρούσας έρευνας), με έμφαση στο βαθμό στον οποίο κατανοούσαν τα ερωτήματα που περιλαμβάνονται στο κάθε έργο αξιολόγησης και στον εντοπισμό πιθανών παρερμηνεύσιμων στοιχείων και παραγόντων που θα μπορούσαν να περιπλέξουν τη μέτρηση. Η ανατροφοδότηση που προέκυψε από τις δύο αυτές κατευθύνσεις οδήγησε σε μικρές τροποποιήσεις των έργων αξιολόγησης (π.χ. το τρυπάνι στο δεύτερο έργο αξιολόγησης, αντί να τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο θεωρήθηκε καταλληλότερο για τους σκοπούς της αξιολόγησης να λειτουργεί με μπαταρίες, ώστε να αποφευχθεί η πρόσθετη πολυπλοκότητα που συνδέεται με την κατανόηση του ρόλου του ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού στη λειτουργία του συστήματος).

Διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων

Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων εκτέθηκαν σε ανάλυση περιεχομένου (content analysis) (Weber, 1985), με στόχο την οργάνωσή τους σε κατηγορίες που να αναπαριστούν τη διαφοροποίηση που υφίστανται ανάλογα με το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονται. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας γίνονταν τακτικές συναντήσεις των ερευνητών με στόχο την επίτευξη συναίνεσης ως προς την περιγραφή και ερμηνεία των δεδομένων. Για να αξιολογηθεί η αξιοπιστία της διαδικασίας κωδικοποίησης των αποτελεσμάτων, ζητήθηκε από τρίτο ερευνητή να επαναλάβει την κατηγοριοποίηση ενός τυχαία επιλεγμένου μέρους των δεδομένων (30%). Οι δύο κωδικοποιήσεις παρουσίασαν μεγάλο ποσοστό ταύτισης (μεγαλύτερο από 85%).

Πίνακας 1. Πλήθος απαντήσεων ανά έργο αξιολόγησης

	Έργο Αξιολόγησης 1	Έργο Αξιολόγησης 2	Έργο Αξιολόγησης 3
Πλήθος Απαντήσεων	191	102	198

Πίνακας 2. Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης απαντήσεων στο πρώτο έργο αξιολόγησης

Κατηγορίες Απάντησης	N	%
1 Αναγνώριση της ιδιότητας της διατήρησης και έμμεση ή άμεση αναφορά στην ιδιότητα της υποβάθμισης	6	3
2 Αναγνώριση της ιδιότητας της διατήρησης αλλά παράβλεψη της ιδιότητας της υποβάθμισης	120	62
3 Αποδοχή του νόμου διατήρησης της ενέργειας μετά από διαστρέβλωση του περιεχομένου του	57	30
4 Απόρριψη του νόμου διατήρησης	4	2
5 Απουσία σαφούς τοποθέτησης	3	2
6 Άσχετες απαντήσεις	1	1
Σύνολο	191	100

Αποτελέσματα

Έργο Αξιολόγησης 1: Υποβάθμιση και διατήρηση της ενέργειας κατά τη λειτουργία μιας χορτοκοπτικής μηχανής

Οι απαντήσεις στο πρώτο έργο αξιολόγησης ομαδοποιούνται σε επτά κατηγορίες (Πίνακας 2). Η πρώτη περιλαμβάνει τις απαντήσεις (N=6, 3%) στις οποίες αναφέρθηκε ότι η ποσότητα της ενέργειας διατηρείται σταθερή σε ποσότητα αλλά μετατρέπεται σε λιγότερο αξιοποιήσιμες μορφές, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δυνατότητα πρόκλησης νέων μεταβολών (π.χ. «...Η νέα μορφή, όμως, δεν μπορεί συνεχώς να μετατρέπεται και να προκαλεί νέες μεταβολές. Αυτό συμβαίνει μέχρι η διεργασία να τελειώσει κι όλο ή μεγάλο ποσό της ενέργειας να αποδοθεί στο περιβάλλον»). Παρόλο που αυτές οι απαντήσεις δεν αναφέρθηκαν ρητά στην ιδιότητα της υποβάθμισης της ενέργειας, είναι σημαντικό να σημειωθεί η συμβατότητά τους με αυτή την ιδέα.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις (N=120, 62%) που ήταν συμβατές με το νόμο διατήρησης της ενέργειας αλλά είτε αγνοούσαν είτε συγκρούονταν με την ιδιότητα της υποβάθμισης. Αυτές οι απαντήσεις διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες. Στην πρώτη (N=73, 38%) περιλήφθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες δηλώθηκε ότι η ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές χωρίς να αναγνωρίζεται η τάση της να υποβαθμίζεται σε ποιότητα (π.χ. «Συμφωνώ με το φοιτητή 1. Χρησιμοποιούμε την ενέργεια για να παράγουμε κάποιο έργο αλλά μέσα από την εκτέλεση αυτού του έργου δεν μειώνεται η ποσότητα της ενέργειας, απλά αλλάζει η μορφή της»). Στη δεύτερη περιλαμβάνονται οι απαντήσεις (N=10, 5%) που περιορίστηκαν απλώς στην επισήμανση της διατήρησης της ποσότητας της ενέργειας (π.χ. «Συμφωνώ με το φοιτητή 1. Η ποσότητα της ενέργειας του συστήματος είναι σταθερή. Διαφωνώ με το φοιτητή 2 που λέει ότι ανάλογα με το αποτέλεσμα μειώνεται και η ενέργεια»). Τέλος, στην τρίτη υποκατηγορία περιλαμβάνονται οι απαντήσεις (N=37, 19%) που υποστήριξαν τη διατήρηση της ενέργειας αλλά απέρριψαν την ιδιότητα της υποβάθμισης (π.χ. «Συμφωνώ με το φοιτητή 1, γιατί όταν λέμε ότι η ενέργεια διατηρείται σταθερή θεωρούμε ότι η συνολική ποσότητα δεν χάνεται αλλά μετατρέπεται σε κάποια άλλη μορφή, η οποία σε μετέπειτα χρήση της θα προκαλέσει νέες μεταβολές»).

Στην τρίτη κατηγορία περιλήφθηκαν οι απαντήσεις 57 συμμετεχόντων (30%) οι οποίοι επιχείρησαν να υποστηρίξουν τη διατήρηση της ενέργειας αποδίδοντάς της ωστόσο μια διαστρεβλωμένη ερμηνεία. Τα δεδομένα κατέδειξαν τέσσερις διαφορετικές στρεβλώσεις. Η πρώτη εμφανίστηκε σε 47 περιπτώσεις (25%) και περιλαμβάνει την ιδέα ότι η ποσότητα της ενέργειας μειώνεται αφού παράγεται ένα αποτέλεσμα, που αντιστοιχεί σε αυτή τη μείωση της ενέργειας (π.χ. «Συμφωνώ με το φοιτητή 2, για το λόγο ότι λαμβάνει υπόψη και το προϊόν που

προκύπτει από τη διεργασία. Η ενέργεια μειώνεται αλλά ταυτόχρονα παράγεται ένα αποτέλεσμα που αντιστοιχεί με τη μείωση της ποσότητας της ενέργειας»). Η δεύτερη, η οποία εμφανίστηκε σε τέσσερις περιπτώσεις (2%), προσεγγίζει το νόμο διατήρησης ως μια εξιδανίκευση που δεν εφαρμόζεται σε πραγματικές συνθήκες (π.χ. «...Λέγοντας ότι η ενέργεια διατηρείται σταθερή εξυπακούεται ότι η ποσότητα που υπήρχε αρχικά υπάρχει και στο τέλος αν λάβουμε υπόψη τις απώλειες ενέργειας λόγω τριβής...»). Η τρίτη (N=2, 1%) στηρίζεται στην ιδέα ότι η ενέργεια μειώνεται, αλλά ταυτόχρονα αναπληρώνεται από την πηγή της (π.χ. «Συνεχίζει να υπάρχει η ίδια ποσότητα ενέργειας από τη στιγμή που ασκείται από ηλεκτρική πηγή συνεχώς, άρα η ενέργεια του σώματος είναι σταθερή»). Η τέταρτη, (N=4, 2%) αφορά στην ιδέα ότι η ενέργεια επιστρέφει στην αρχική της μορφή (π.χ. «Συμφωνώ με το φοιτητή 1, η ενέργεια είναι αποθηκευμένη, μετατρέπεται σε μια άλλη μορφή και αφού τελειώσει η διαδικασία επανέρχεται στην αρχική μορφή χωρίς οποιαδήποτε αλλαγή στη συνολική ποσότητα της ενέργειας»), άποψη που ενδεχομένως σχετίζεται με την ιδέα ότι αποθηκεύεται σε κάποια αδρανή μορφή.

Στην τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνονται τέσσερις συμμετέχοντες (2%) που απέρριψαν ρητά το νόμο διατήρησης της ενέργειας. Δύο από αυτούς (1%) ανέφεραν ότι η ποσότητα της ενέργειας δεν διατηρείται σταθερή αλλά αυξομειώνεται (π.χ. «Η ενέργεια δεν διατηρείται από την αρχή μέχρι το τέλος της διεργασίας σταθερή. Η ποσότητα της ενέργειας μπορεί είτε να μειωθεί είτε να αυξηθεί») ενώ οι υπόλοιποι δύο (1%) δήλωσαν ότι η ενέργεια καταναλώνεται κατά την εκτέλεση της διεργασίας (π.χ. «Μια αρχική ενέργεια μπορεί να διαδοθεί ή να μετατραπεί και σίγουρα θα χάσει ένα μέρος της κατά τη διαδικασία αυτή»).

Στην πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνονται τρεις συμμετέχοντες (2%) οι οποίοι θεώρησαν ότι και οι δύο θέσεις μπορούν να είναι ορθές. Σε μια από αυτές τις περιπτώσεις ανιχνεύθηκε η σύγκρουση μεταξύ των δύο απόψεων αλλά δεν υπήρξε τοποθέτηση υπέρ κάποιας από αυτές (π.χ. «Κατά κάποιο τρόπο συμφωνώ με το φοιτητή 1, καθώς η συνολική ποσότητα της ενέργειας διατηρείται σταθερή. Εντούτοις δεν είμαι σίγουρη για το αν χρησιμοποιείται ποσότητα ενέργειας για την παραγωγή ενός έργου. Αν αυτό δεν ήταν σωστό τότε γιατί εξαντλούνται οι μπαταρίες;»).

Τέλος, στην έκτη κατηγορία περιλαμβάνεται ένας συμμετέχοντας (1%), ο οποίος έδωσε άσχετη απάντηση (π.χ. «Ενέργεια πάντα υπάρχει και χρησιμοποιείται ανάλογα με το ποιες μεταβολές θέλουμε να προκαλέσουμε»).

Έργο αξιολόγησης 2: Σύγκριση της ποσότητας της ενέργειας του συστήματος ενός ηλεκτρικού τρυπανιού σε διάφορες φάσεις της λειτουργίας του.

Οι απαντήσεις στο δεύτερο έργο αξιολόγησης διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Πίνακας 3). Η πρώτη περιλαμβάνει 15 συμμετέχοντες (15%) που έδωσαν απαντήσεις οι οποίες θα μπορούσαν, υπό προϋποθέσεις, να θεωρηθούν συμβατές με το νόμο διατήρησης της ενέργειας. Οι 13 από αυτούς δήλωσαν ότι η ποσότητα ενέργειας στις τρεις περιπτώσεις (α. πριν την έναρξη της λειτουργίας του τρυπανιού, β. κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του και γ. μετά τον τερματισμό της) είναι ίση και, επιπρόσθετα, αναγνώρισαν ότι η ενέργεια διαδίδεται σε άλλο μέρος του συστήματος ή μετατρέπεται σε άλλες μορφές (π.χ. «Οι ποσότητες θα είναι ίδιες αφού η αρχική ενέργεια μεταδίδεται, δεν χάνεται. Έτσι, στο τέλος η αρχική ενέργεια απλά θα μετατραπεί σε άλλες μορφές»).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης απαντήσεων στο δεύτερο έργο αξιολόγησης

Κατηγορίες Απάντησης	N	%
1 Απαντήσεις δυνητικά συνεπείς με το νόμο διατήρησης της ενέργειας	15	15
2 Απαντήσεις που συγκρούονται με το νόμο διατήρησης της ενέργειας	71	70
3 Άσχετες / Ελλιπείς απαντήσεις	16	15
Σύνολο	102	100

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι εννιά από αυτούς (9%) προσδιόρισαν, επιπρόσθετα, το μέρος του συστήματος στο οποίο καταλήγει η ενέργεια, όταν τερματιστεί η λειτουργία του τρυπανιού (π.χ. «όσο το τρυπάνι είναι σε λειτουργία έχουμε μετατροπή της ηλεκτρικής σε κινητική και θερμική. Το ποσό της ενέργειας που έχει χρησιμοποιηθεί δεν χάνεται αλλά καταλήγει στο περιβάλλον»). Οι υπόλοιποι δύο συμμετέχοντες που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία δήλωσαν ότι η ενέργεια μειώνεται στο τέλος αφού μέρος της διαδίδεται στο περιβάλλον και στον τοίχο (π.χ. «Σταματώντας τη λειτουργία του τρυπανιού δεν έχουμε την ίδια ποσότητα ενέργειας καθώς ενέργεια μεταφέρθηκε στον τοίχο και στο περιβάλλον»). Η εγκυρότητα των δύο ειδών απάντησης αυτής της κατηγορίας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο οριοθετείται το σύστημα. Ειδικότερα, η πρώτη καθίσταται έγκυρη στην περίπτωση όπου το σύστημα είναι κλειστό περιλαμβάνοντας τόσο το τρυπάνι όσο και τον τοίχο και το περιβάλλον (αέρας). Αντίστοιχα, στη δεύτερη περίπτωση προϋποτίθεται ότι το σύστημα είναι ανοικτό αφήνοντας εκτός τον περιβάλλοντα αέρα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σε καμία περίπτωση δεν υπήρξε αναφορά από τους συμμετέχοντες στα όρια του συστήματος. Αυτό καταδεικνύει την έλλειψη κατανόησης για το ρόλο των ορίων του συστήματος στην εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας (π.χ. η ενέργεια διατηρείται σταθερή μόνο σε κλειστά συστήματα).

Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται 71 συμμετέχοντες (70%), οι οποίοι έδωσαν απαντήσεις που συγκρούονταν με το νόμο διατήρησης της ενέργειας. Αυτές οι απαντήσεις οργανώθηκαν σε δύο υποκατηγορίες. Στην πρώτη περιλαμβάνονται 22 συμμετέχοντες (22%) που δήλωσαν ρητά ότι η ενέργεια καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του τρυπανιού (π.χ. «Η ποσότητα της ενέργειας θα μειώνεται καθώς λειτουργεί. Μόλις σταματήσει να λειτουργεί το τρυπάνι από μόνο του τότε θα έχει καταναλωθεί όλη η ποσότητα ενέργειας.»). Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει 49 συμμετέχοντες (48%) οι οποίοι δήλωσαν ότι η ενέργεια αυξάνεται κατά τη λειτουργία του συστήματος. Τα δεδομένα εισηγούνται ότι οι συμμετέχοντες χρησιμοποίησαν ως κριτήριο για την απάντησή τους την παρουσία (ή απουσία) κάποιας εξελισσόμενης διεργασίας στο σύστημα. Ειδικότερα, κατέληξαν να υποστηρίζουν πως όταν το τρυπάνι βρίσκεται εκτός λειτουργίας η ποσότητα ενέργειας είναι μικρότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη ποσότητα όταν βρίσκεται σε λειτουργία (π.χ. «Σίγουρα η ποσότητα της ενέργειας πριν ξεκινήσει να λειτουργεί μπορεί να ήταν μηδαμινή έως πολύ μικρή. Την ώρα που το τρυπάνι λειτουργεί η ποσότητα της ενέργειας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη γιατί τότε παράγεται έργο [...] όταν το τρυπάνι βρίσκεται σε λειτουργία έχουμε ψηλά ποσά ενέργειας. Μόλις σταματήσει, η ενέργεια είναι λιγοστή μέχρι να φθάσει σε πολύ χαμηλά ποσά ως καθόλου»). Παραβλέποντας συγκεκριμένες πτυχές της απάντησης μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι παρουσιάζει συμβατότητα με το νόμο διατήρησης υπό την παραδοχή ότι πρόκειται για ένα ανοικτό σύστημα που περιλαμβάνει μόνο την αρίδα του τρυπανιού. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι κανένας από τους συμμετέχοντες δεν διευκρίνισε αυτή την παραδοχή και γενικότερα σε καμία περίπτωση δεν διασυνδέθηκαν οι απαντήσεις τους με τα όρια του συστήματος.

Στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται δεκαέξι συμμετέχοντες (15%) που απέτυχαν να απευθυνθούν στο ερώτημα που τίθεται έργο αξιολόγησης. Οι έντεκα από αυτούς (11%) κατέληξαν να ταυτίζουν την ενέργεια με το ηλεκτρικό ρεύμα δίνοντας ουσιαστικά άσχετες απαντήσεις (π.χ. «όλη η ενέργεια θα επιστρέψει πίσω στην μπαταρία»). Οι υπόλοιποι πέντε (4%) παρέλειψαν οποιαδήποτε αναφορά στην ποσότητα της ενέργειας του συστήματος.

Έργο αξιολόγησης 3: Πρόβλεψη ύψους αναπήδησης λαστικένιας μπάλας

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι απαντήσεις στο τρίτο έργο αξιολόγησης ανά σενάριο. Αναπήδηση σε ύψος ίσο με το αρχικό: 50 συμμετέχοντες (25%) θεώρησαν εφικτό αυτό το σενάριο και μόνο πέντε (3%) από αυτούς αξιοποίησαν την ενέργεια στην αιτιολόγησή τους (π.χ. «...Ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Συνεπώς, το μπαλάκι θα φθάσει στο ίδιο ύψος»). Σε αυτές τις περιπτώσεις οι συμμετέχοντες φάνηκαν να στηρίζονται στην παραδοχή ότι υπάρχουν

ιδανικές συνθήκες, χωρίς όμως να το δηλώνουν ρητά και, συνεπώς, χωρίς να είναι σαφές κατά πόσο είχαν επίγνωση αυτής της παραδοχής. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, είτε δόθηκε ελλιπής αιτιολόγηση (N=44, 21%) (π.χ. «Υπάρχει πιθανότητα επειδή αφέθηκε από το ίδιο ύψος») είτε δεν δόθηκε καμιά αιτιολόγηση (N=1, 1%).

Σε 144 περιπτώσεις (73%) δηλώθηκε ότι το σενάριο δεν μπορεί να υλοποιηθεί. Σε 32 (16%) από αυτές τις περιπτώσεις οι συμμετέχοντες στηρίχθηκαν στην ενέργεια (π.χ. «Δεν θα συμβεί γιατί κατά τη διάρκεια της πτώσης η ενέργεια που έχει το μπαλάκι θα μετατραπεί σε άλλες μορφές»). Αξίζει να σημειωθεί ότι σε εννιά από αυτές τις περιπτώσεις οι απαντήσεις παρουσίασαν προφανή σύγκρουση με το νόμο διατήρησης (π.χ. «Κατά την πρόσκρουση θα σταταληθεί κάποια ενέργεια έτσι το μπαλάκι δεν θα μπορεί να φθάσει στο αρχικό ύψος»). Είναι σημαντικό να αναφερθεί επίσης, ότι 22 συμμετέχοντες (15%) ανέφεραν ως προϋπόθεση για να συμβεί το σενάριο, την επικράτηση ιδανικών συνθηκών για τη διατήρηση της ενέργειας στο μπαλάκι (π.χ. «Υπάρχει πιθανότητα να συμβεί αν έχουμε ιδανικές συνθήκες και δεν έχουμε καμιά διάδοση ενέργειας στο περιβάλλον, ούτε από τριβή, ούτε από αντίσταση του αέρα»).

Αναπήδηση σε ύψος μεγαλύτερο από το αρχικό: 20 συμμετέχοντες (10%) θεώρησαν αυτό το σενάριο πιθανό και η επικρατέστερη αιτιολόγηση αναφερόταν στο υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μπαλάκι (π.χ. «Το μπαλάκι αναπηδά σε μεγαλύτερο ύψος λόγω της ελαστικότητάς του»). Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο σενάριο παραβιάζει το νόμο διατήρησης της ενέργειας, η αποδοχή του από ένα σημαντικό ποσοστό των συμμετεχόντων παρέχει μια σαφή ένδειξη ελλιπούς κατανόησης του νόμου διατήρησης. Από τους υπόλοιπους 175 συμμετέχοντες (89%) που απέκλεισαν αυτό το σενάριο, μόνο οι 27 (14%) αναφέρθηκαν στην ενέργεια. Οι 18 (9%) έδωσαν αιτιολόγηση που θα μπορούσε να θεωρηθεί δυνητικά έγκυρη, αφού δεν παρουσίαζε οποιαδήποτε προφανή σύγκρουση με το νόμο διατήρησης (π.χ. «Δεν θα συμβεί γιατί η ενέργεια που έχει το μπαλάκι μειώνεται καθώς το μπαλάκι πέφτει και μετατρέπεται σε άλλες μορφές»). Οι επτά (4%) έδωσαν απαντήσεις που συγκρούονταν με το νόμο διατήρησης (π.χ. «Δεν μπορεί να συμβεί αυτό γιατί όταν χτυπά στο έδαφος χάνεται ενέργεια») ενώ οι υπόλοιποι δύο παρόλο που χρησιμοποιούσαν τον όρο ενέργεια, αναφέρονταν ουσιαστικά στο φυσικό μέγεθος της δύναμης (π.χ. «Δεν θα συμβεί επειδή δεν ρίχνει το μπαλάκι με ενέργεια»). Οι υπόλοιποι συμμετέχοντες που δεν αναφέρθηκαν στην ενέργεια είτε δήλωσαν απλώς ότι το μπαλάκι δεν μπορεί να αναπηδήσει σε ύψος μεγαλύτερο του αρχικού επειδή αφήνεται να πέσει χωρίς να ρίχνεται (N=103, 52%) είτε παρέλειψαν να δώσουν οποιαδήποτε αιτιολόγηση (N=17, 9%).

Πίνακας 4. Σύνοψη των απαντήσεων στο τρίτο έργο αξιολόγησης ανά σενάριο

Κατηγορίες Απάντησης	Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3	
	N	%	N	%	N	%
Θα συμβεί	50	25	20	10	174	88
Αιτιολόγηση βασισμένη στην Ενέργεια	5	3	0	0	36	18
Άλλη Αιτιολόγηση	44	21	18	9	129	65
Χωρίς Αιτιολόγηση	1	1	2	1	9	5
Δεν θα συμβεί	144	73	175	89	21	11
Αιτιολόγηση βασισμένη στην Ενέργεια	32	16	27	14	1	1
Άλλη Αιτιολόγηση	94	48	131	66	19	9
Χωρίς Αιτιολόγηση	18	9	17	9	1	1
Άσχετες	4	2	3	1	3	1
Σύνολο	198	100	198	100	198	100

Πίνακας 5. Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης των απαντήσεων στο τρίτο έργο αξιολόγησης (ενιαίο σκεπτικό)

Κατηγορίες Απάντησης	Ενιαίο Σκεπτικό	
	N	%
1 Εννοιολογικά προσανατολισμένες απαντήσεις	170	87
Βασισμένες στην ενέργεια	44	23
Βασισμένες σε κάποια άλλη έννοια	126	64
2 Φαινομενολογικά προσανατολισμένες απαντήσεις	24	12
3 Καμιά απάντηση	1	1
Σύνολο	195	100

Αναπήδηση σε ύψος μικρότερο από το αρχικό: Η πλειονότητα των συμμετεχόντων (N=174, 88%) θεώρησε πιθανό αυτό το σενάριο. Από αυτούς μόνο οι 36 (18%) αιτιολόγησαν την απάντησή τους χρησιμοποιώντας την ιδέα της ενέργειας (π.χ. «Είναι το πιο πιθανό γιατί καθώς το μπαλάκι κινείται έχουμε διάδοση της ενέργειας στο περιβάλλον, άρα δεν θα φθάσει το αρχικό ύψος αφού δεν έχει τόση ποσότητα ενέργειας όση πριν»). Οι 11 από αυτούς (6%) διατύπωσαν επιχειρήματα που συγκρούονταν με το νόμο διατήρησης της ενέργειας (π.χ. «Το μπαλάκι έχει βαρυντική δυναμική ενέργεια κι ένα μέρος της θα χαθεί καθώς κινείται, έτσι θα φθάσει σε πιο μικρό ύψος»). Επίσης, ένας συμμετέχοντας χρησιμοποιούσε τον όρο ενέργεια ενώ αναφερόταν ουσιαστικά στη δύναμη (π.χ. «Λόγω της βαρυντικής δυναμικής ενέργειας που το έλκει προς τα κάτω δεν θα επιστρέψει πίσω»). 21 συμμετέχοντες (11%) απέρριψαν αυτό το σενάριο και μόνο ένας από αυτούς (1%) αιτιολόγησε το σκεπτικό του με αναφορά στην ενέργεια, «Δεν θα συμβεί. Θα συνέβαινε εάν το μπαλάκι συναντούσε ένα εμπόδιο που περιορίζει την ενέργειά του». Οι υπόλοιποι συμμετέχοντες προσπάθησαν να αιτιολογήσουν την απάντησή τους κυρίως με αναφορά στο ύψος που αφήθηκε το μπαλάκι, στο υλικό του και στην πεποίθησή τους ότι θα αναπηδήσει σε μεγαλύτερο ύψος (π.χ. «Είναι λίγο απίθανο όσο ελεύθερο κι αν έπεσε το μπαλάκι, αφού είναι από λάστιχο»).

Αποτελέσματα κωδικοποίησης του σκεπτικού των συμμετεχόντων συνολικά για τα τρία σενάρια

Πέρα από την απλή καταγραφή του βαθμού στον οποίο οι συμμετέχοντες θεώρησαν εφικτό το καθένα από τα τρία σενάρια, έγινε μια προσπάθεια περιγραφής του σκεπτικού που υιοθέτησαν συνολικά για τα τρία σενάρια. Από αυτήν την προσπάθεια αποκλείστηκαν τρεις συμμετέχοντες στους οποίους δεν ήταν εφικτό να αποδοθεί ένα ενιαίο σκεπτικό αφού υπήρχαν ασυνέπειες ανάμεσα στις απαντήσεις τους στα επιμέρους σενάρια. Αυτή η προσπάθεια οδήγησε στην οργάνωση των απαντήσεων σε δύο κύριες κατηγορίες (Πίνακας 5). Στην πρώτη περιλήφθηκαν οι απαντήσεις (N=170, 87%) που στηρίχθηκαν σε κάποια έννοια των φυσικών επιστημών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μόνο 44 από αυτές τις απαντήσεις (23%) αναφέρθηκαν στην ενέργεια ενώ οι υπόλοιπες 126 (64%) στηρίχθηκαν σε κάποια άλλη έννοια (π.χ. δύναμη). Αυτό το εύρημα ενισχύει τον ισχυρισμό που διατυπώθηκε νωρίτερα αναφορικά με την αδυναμία των συμμετεχόντων να εκτιμήσουν την ενέργεια ως πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις (N=24, 12%) που απέφυγαν να εντάξουν το έργο αξιολόγησης σε ένα εννοιολογικό πλαίσιο και εστίασαν σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Αυτές οι απαντήσεις οργανώθηκαν σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους συμμετέχοντες (N=7, 3%) που αναφέρθηκαν σε

στοιχεία που αφορούν στις συνθήκες της έναρξης της πώσης της μπάλας. Αυτοί οι συμμετέχοντες συνήθως εστιάζονταν στον τρόπο με τον οποίο αφήνεται το μπαλάκι να πέσει (π.χ. «Από τη στιγμή που ο Γιάννης αφήνει ελεύθερο το μπαλάκι να πέσει από το χέρι του και δεν το ρίχνει, πιστεύω δεν θα μπορέσει να αναπηδήσει σε ύψος μεγαλύτερο από ενάμιση μέτρο όταν κτυπήσει τα μάρμαρα»). Στη δεύτερη υποκατηγορία, περιλαμβάνονται 17 συμμετέχοντες (9%) που επικεντρώθηκαν στο υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο το μπαλάκι (π.χ. «Είναι απίθανο να συμβεί (το μπαλάκι να αναπηδήσει σε ύψος μικρότερο από το αρχικό) αφού είναι από λάστιχο»).

Δυσκολίες αναφορικά με την εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων

Το κύριο εύρημα που προκύπτει από τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στα τρία έργα αξιολόγησης είναι ότι σε μεγάλο βαθμό δεν έχουν αναπτυγμένη την ικανότητα να εφαρμόζουν το νόμο διατήρησης της ενέργειας στην ανάλυση απλών φυσικών συστημάτων. Πιο κάτω συνοψίζονται και συζητούνται συγκεκριμένες δυσκολίες οι οποίες συνδέονται με αυτή την αδυναμία.

Τάση για αντιστοίχιση του προϊόντος που παράγεται στο πλαίσιο μιας διεργασίας με μια ποσότητα ενέργειας

Η επίδραση αυτής της δυσκολίας εμφανίστηκε με δύο τρόπους στις απαντήσεις των συμμετεχόντων. Ο πρώτος αναφέρεται στο σκεπτικό που υιοθέτησαν οι συμμετέχοντες οι οποίοι απέρριψαν άμεσα το νόμο διατήρησης της ενέργειας θεωρώντας ότι ένα ποσό της αρχικής ενέργειας δαπανάται/καταναλώνεται για την επίτευξη ενός προϊόντος. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του δεύτερου έργου αξιολόγησης (ηλεκτρικό τρυπάνι), σημαντικό ποσοστό των συμμετεχόντων δήλωσε ότι καθώς λειτουργεί το τρυπάνι μειώνεται η ποσότητα της ενέργειας αφού ένα μέρος της δαπανάται για το άνοιγμα της τρύπας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη δυσκολία εμφανίστηκε και σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Kesidou & Duit, 1993). Ο δεύτερος τρόπος, ο οποίος εμφανίστηκε στο πρώτο έργο αξιολόγησης, περιλαμβάνει τη θέση ότι η ενέργεια διατηρείται σταθερή υπό την έννοια ότι το προϊόν που παράγεται στο πλαίσιο μιας διεργασίας αντιστοιχεί σε μια ποσότητα, η οποία εάν προστεθεί με την τελική ποσότητα ενέργειας δίνει άθροισμα ίσο με την αρχική ποσότητα. Παρά το γεγονός ότι αυτό το σκεπτικό επιχειρεί να διασφαλίσει συμβατότητα με το νόμο διατήρησης της ενέργειας συνιστά έμμεση απόρριψή του.

Πεποίθηση ότι η αύξηση της αποθηκευμένης ενέργειας ενός συστήματος συνοδεύεται πάντοτε από μεταβολές σε παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά του

Τα δεδομένα από την κωδικοποίηση των απαντήσεων στα έργα αξιολόγησης εισηγούνται ότι το σκεπτικό των συμμετεχόντων υποσκάπτεται από την τάση τους να θεωρούν ότι η ενέργεια αποτελεί αποκλειστική ιδιότητα αντικειμένων στα οποία εμφανίζονται μεταβολές σε μακροσκοπικά, παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά τους. Αυτή η τάση συνδέεται με δύο προβληματικές αντιλήψεις (διαστρεβλώσεις) της αρχής διατήρησης της ενέργειας που εκφράστηκαν στις απαντήσεις των συμμετεχόντων. Η πρώτη, αφορά στη θέση ότι το κριτήριο για τον καθορισμό του κατά πόσο υπάρχει (ή δεν υπάρχει) αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα σύστημα είναι η παρουσία (ή απουσία) μιας εξελισσόμενης διεργασίας που συνοδεύεται από παρατηρήσιμες μεταβολές (Trumper, 1998; Kruger, 1990). Το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται αυτή η θέση συνοψίζεται ως ακολούθως: όταν βρίσκεται σε εξέλιξη μια διεργασία (π.χ. όταν επιταχύνεται ένα αντικείμενο) υπάρχει ενέργεια στο σύστημα ενώ όταν τερματιστεί η διεργασία (π.χ. το αντικείμενο περιέρχεται σε κατάσταση ηρεμίας) τότε παύει να υπάρχει και η ενέργεια. Προφανώς, αυτή η θέση αγνοεί το γεγονός ότι συχνά η διάδοση

της ενέργειας σε συγκεκριμένα μέρη του συστήματος και η αποθήκευσή της σε συγκεκριμένες μορφές (π.χ. αύξηση εσωτερικής ενέργειας του περιβάλλοντα αέρα) δεν αντιστοιχούν σε παρατηρήσιμες μεταβολές. Η δεύτερη προβληματική αντιμετώπιση της διατήρησης της ενέργειας, η οποία φαίνεται να συνδέεται με την ίδια δυσκολία, αναφέρεται στην ιδέα ότι η ενέργεια έχει τη δυνατότητα να μετατρέπεται σε μια αδρανή μορφή. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες στην προσπάθειά τους να συμβιβάσουν τον τερματισμό των διεργασιών με τη διατήρηση της ενέργειας, συχνά επικαλούνταν την ιδέα ότι η ενέργεια παραμένει αποθηκευμένη στο ίδιο αντικείμενο αλλά μετατρέπεται σε μια αδρανή μορφή, η οποία μπορεί να ενεργοποιηθεί σε μεταγενέστερο στάδιο. Αυτή η στρεβλωμένη ερμηνεία του περιεχόμενου του νόμου διατήρησης υπονοεί ότι η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα αντικείμενο/σύστημα παραμένει σταθερή και μπορεί να μετατρέπεται ανάμεσα σε μια αδρανή μορφή (όταν τερματίζεται μια διεργασία) και μια αναγνωρίσιμη μορφή που συνδέεται με μεταβολές σε μακροσκοπικά χαρακτηριστικά μερών του συστήματος (π.χ. κινητική ενέργεια) όταν βρίσκεται σε εξέλιξη μια διεργασία (π.χ. κίνηση ενός αντικειμένου). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η διαστρέβλωση του νόμου διατήρησης εμφανίζεται επίσης στη βιβλιογραφία σε περιπτώσεις μαθητών στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Solomon, 1992).

Ελλιπής κατανόηση της τάσης της ενέργειας να υποβαθμίζεται σε ποιότητα

Μια άλλη δυσκολία αφορά στην ελλιπή κατανόηση για την ιδιότητα της ενέργειας να υποβαθμίζεται σε ποιότητα αφού καταλήγει συχνά να αποθηκεύεται σε μέρη του συστήματος σε μορφές που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν εύκολα (π.χ. εσωτερική ενέργεια περιβάλλοντα αέρα). Η εκτίμηση της ιδιότητας της υποβάθμισης θα περιορίζει την επίδραση της προηγούμενης δυσκολίας και την επίδραση των σχετικών διαστρεβλώσεων της διατήρησης της ενέργειας αφού θα επέτρεπε σε κάποιον να αντιληφθεί ότι είναι εφικτό η προφανής μείωση της ενέργειας ενός αντικειμένου να συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της ενέργειας κάποιου άλλου μέρους του συστήματος χωρίς ωστόσο να προκύπτει κάποια παρατηρήσιμη μεταβολή σε κάποιο χαρακτηριστικό του (π.χ. η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αέρα δεν συνοδεύεται από παρατηρήσιμη μεταβολή στη θερμοκρασία του, λόγω της τεράστιας μάζας του). Αντίστοιχα, θα επέτρεπε σε κάποιον να υποθέσει ότι σε περιπτώσεις όπου η ενέργεια φαίνεται να χάνεται, εξακολουθεί να διατηρείται αλλά διαδίδεται σε άλλα μέρη του συστήματος αυξάνοντας την εσωτερική τους ενέργεια.

Ελλιπής εκτίμηση της ιδιότητας της διατήρησης της ενέργειας ως εργαλείου πρόβλεψης της συμπεριφοράς συστημάτων

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της ενέργειας ως φυσικού μεγέθους είναι ότι περιορίζει το εύρος των δυνατών καταστάσεων στις οποίες μπορεί να περιέλθει ένα κλειστό σύστημα, απαγορεύοντας εκείνες που αυξάνουν την ποσότητά της, παραβιάζοντας έτσι το νόμο διατήρησης. Οι συμμετέχοντες φάνηκαν να μην εκτιμούν την ενέργεια ως πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων. Ειδικότερα, στην περίπτωση του τρίτου έργου αξιολόγησης (πρόβλεψη ύψους αναπήδησης λαστιχένιας μπάλας), ένα μεγάλο ποσοστό των συμμετεχόντων (77%) απάντησε χωρίς οποιαδήποτε αναφορά στην ενέργεια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η μέγιστη τιμή αυτού του ποσοστού εμφανίστηκε στην περίπτωση του σεναρίου που συγκρούεται με το νόμο διατήρησης (αναπήδηση της μπάλας σε ύψος μεγαλύτερο από αυτό από το οποίο αφέθηκε αρχικά). Ένα άλλο αξιοσημείωτο εύρημα, το οποίο είναι επίσης ενδεικτικό της αδυναμίας των συμμετεχόντων να αξιοποιήσουν το νόμο διατήρησης της ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων, συνδέεται με το σχετικά μεγάλο ποσοστό συμμετεχόντων που δήλωσαν ότι το συγκεκριμένο σενάριο είναι εφικτό.

Αντιμετώπιση του νόμου διατήρησης ως εξιδανίκευση

Κάποιοι συμμετέχοντες δήλωσαν ρητά ότι ο νόμος διατήρησης της ενέργειας ισχύει μόνο σε ιδανικές περιπτώσεις, όπου, για παράδειγμα, δεν υπάρχει τριβή. Αυτό το σκεπτικό ενδεχομένως προκύπτει ως προϊόν της τάσης της διδασκαλίας να δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ανάγκη για ιδανικές συνθήκες, κυρίως κατά την επίλυση ποσοτικών προβλημάτων, χωρίς να γίνεται προσπάθεια να αντιληφθούν οι μαθητές το χρήσιμο ρόλο που επιτελεί η εξιδανίκευση στην ανάλυση συστημάτων. Για παράδειγμα, το αίτημα για ιδανικές συνθήκες απαιτείται για να εξαιρεθούν από ποσοτική επεξεργασία παράγοντες που δεν είναι εφικτό, ή πρακτικά εύκολο, να μετρηθούν. Η απουσία ρητής συζήτησης για το ρόλο της εξιδανίκευσης, ενδεχομένως, συνεισφέρει στη διαμόρφωση ή ενδυνάμωση, της αντίληψης ότι οι φυσικοί νόμοι (ή τουλάχιστον κάποιοι φυσικοί νόμοι) ισχύουν μόνο σε ιδανικές συνθήκες. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτό το σκεπτικό συνάδει σε κάποιο βαθμό με τη δυσκολία που συζητήθηκε νωρίτερα αναφορικά με την υιοθέτηση ενός καταναλωτικού μοντέλου για την ενεργειακή αναπαράσταση μεταβολών. Ειδικότερα, η τριβή τείνει να ερμηνεύεται από τους συμμετέχοντες ως ένας παράγοντας που μειώνει την ενέργεια ενός κινούμενου αντικειμένου. Αυτό ενδεχομένως, ενισχύει την πεποίθηση ότι η διατήρηση δεν ισχύει σε αυτές τις περιπτώσεις όπου υπάρχουν «απώλειες».

Ελλιπής κατανόηση της σημασίας του καθορισμού του συστήματος στην εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας

Η ενέργεια διατηρείται μόνο σε κλειστά συστήματα. Συνεπώς, η έγκυρη εφαρμογή του νόμου διατήρησης απαιτεί τον προσδιορισμό των ορίων του υπό μελέτη συστήματος. Είναι σημαντικό να καταγραφεί ότι οι συμμετέχοντες φάνηκαν να αγνοούν αυτό το στοιχείο. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης με το ηλεκτρικό τρυπάνι, εάν στο σύστημα περιληφθεί τόσο το τρυπάνι όσο και ο τοίχος και ο αέρας, η ενέργεια παραμένει σταθερή σε κάθε στάδιο της λειτουργίας του. Αντίθετα, εάν παραληφθεί από το σύστημα η μπαταρία ή ο αέρας, το σύστημα παύει να είναι κλειστό και επομένως η ποσότητα ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε αυτό στα διάφορα στάδια της λειτουργίας του μεταβάλλεται ανάλογα με το πώς έχουν προσδιοριστεί τα όριά του. Είναι σημαντικό να καταγραφεί ότι οι συμμετέχοντες σε καμία περίπτωση δεν μπόρεσαν στη διαδικασία να καθορίσουν τα όρια του συστήματος. Προέβαιναν σε συγκρίσεις ποσοτήτων ενέργειας ή σε δηλώσεις για το κατά πόσο διατηρείται σταθερή, ή μεταβάλλεται, η ποσότητα ενέργειας σε ένα σύστημα χωρίς να έχουν προσδιορίσει προηγουμένως τα όριά του και, κατά συνέπεια, χωρίς να αντιλαμβάνονται τις επιπτώσεις αυτής της παράλειψης στην εγκυρότητα των απαντήσεών τους.

Συζήτηση

Μια από τις βασικότερες συνιστώσες της κατανόησης της ενέργειας αφορά στην ιδιότητα της διατήρησής της (Duit, 1984). Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η κατανόηση των εκπαιδευτικών για τη διατήρηση της ενέργειας αποτελεί ένδειξη της κατανόησής τους για την ενέργεια ευρύτερα. Το βασικό εύρημα που προκύπτει από την εργασία αφορά στην αδυναμία των συμμετεχόντων να εκτιμήσουν την ενέργεια ως ένα πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων και να εφαρμόσουν την ιδιότητα της διατήρησής της για την ερμηνεία, ή την πρόβλεψη, της συμπεριφοράς απλών συστημάτων. Συνοπτικά, τα δεδομένα κατέδειξαν την τάση των συμμετεχόντων να αποφεύγουν να χρησιμοποιήσουν την ενέργεια για την ανάλυση συστημάτων, παρόμοιων με αυτά που χρησιμοποιούνται στη συνήθη διδακτική πρακτική για την εισαγωγή της ενέργειας, και τον προβληματικό τρόπο με τον οποίο καταλήγουν να εφαρμόζουν την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Αυτό το εύρημα παρέχει

πρόσθετη εμπειρική στήριξη στον ισχυρισμό που διατυπώνεται στην ερευνητική βιβλιογραφία αναφορικά με την ανεπαρκή κατανόηση των εκπαιδευτικών για την ενέργεια (Kruger, 1990; Summers et al., 1998; Trumper, 1998; Tobin et al., 2011). Επιπρόσθετα, τα ευρήματα από την εργασία καταδεικνύουν και τεκμηριώνουν συγκεκριμένες δυσκολίες που τείνουν να υποσκάπτουν την κατανόηση των συμμετεχόντων. Αυτή η πληροφόρηση θα μπορούσε να ενημερώσει προσπάθειες σχεδιασμού διδακτικού υλικού ή διαμόρφωσης προγραμμάτων επιμόρφωσης/εκπαίδευσης εκπαιδευτικών, ώστε, αφενός, να προωθείται η αναγνώριση από μέρους των εκπαιδευτικών για αυτές τις δυσκολίες και, αφετέρου, να τους παρέχεται καθοδήγηση να τις υπερβαίνουν.

Συνέπειες για αναλυτικά προγράμματα διδασκαλίας της ενέργειας

Πέρα από αυτή την πρακτική συνεισφορά της εργασίας, αναφορικά με την εφαρμογή των ευρημάτων της στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού για εκπαίδευση/επιμόρφωση εκπαιδευτικών, απορρέουν επίσης ευρύτερες συνέπειες για τα αναλυτικά προγράμματα για την ενέργεια στη σχολική επιστήμη. Ειδικότερα, δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες συνθέτουν ένα δείγμα ατόμων σχετικά υψηλής ακαδημαϊκής επίδοσης, οι οποίοι έχουν περάσει από το συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας, οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν έχουν προεκτάσεις για τον επαναπροσδιορισμό των εμφάσεων και του περιεχομένου των αναλυτικών προγραμμάτων για τη διδασκαλία της ενέργειας. Πιο κάτω συνοψίζονται δύο βασικές συνέπειες.

Σημασία συνδυασμένης προώθησης των ιδιοτήτων της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας

Τα δεδομένα από την εργασία κατέδειξαν ότι παρόλο που στις πλείστες περιπτώσεις οι συμμετέχοντες αναγνώριζαν και υποστήριζαν την ιδέα ότι η ενέργεια διατηρείται σταθερή παρουσίαζαν συχνά μια ασυνέπεια αφού προέβαιναν σε διατυπώσεις που συγκρούονταν με (ή διαστρέβλωναν) το περιεχόμενο του συγκεκριμένου νόμου. Αυτό ήταν ιδιαίτερα έντονο στις περιπτώσεις όπου οι συμμετέχοντες προσπαθούσαν να συμβιβάσουν το νόμο διατήρησης με την τάση των διαφόρων διεργασιών να τερματίζονται και επίσης στις περιπτώσεις όπου το ζητούμενο ήταν να διευκρινιστεί πού καταλήγει η ενέργεια, εφόσον διατηρείται, όταν μια διεργασία θα έχει πλέον τερματιστεί. Αυτή η αδυναμία μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στην τάση του συμβατικού προτύπου διδασκαλίας να παραβλέπει την ιδέα της υποβάθμισης της ενέργειας. Παρά την ευρεία αναγνώριση της αξίας της διδακτικής επεξεργασίας αυτής της ιδιότητας στην ερευνητική βιβλιογραφία (Duit, 1984; Solomon, 1992; Kesidou & Duit, 1993) παραδοσιακά τείνει να περιθωριοποιείται και να αντιμετωπίζεται ως μια παρεμφερής πληροφορία. Η ιδιότητα της υποβάθμισης θα μπορούσε να επιτελέσει ένα συμπληρωματικό, παραγωγικό ρόλο στην ενίσχυση της κατανόησης για το νόμο διατήρησης. Ειδικότερα, θα μπορούσε να παρέχει μια ερμηνεία για τη φαινομενική ασυμβατότητα του νόμου διατήρησης με τις καθημερινές εμπειρίες οι οποίες φαίνεται να εισηγούνται ότι κάτι χάνεται, παρά ότι κάτι διατηρείται, κατά την εκτέλεση μιας διεργασίας. Συγκεκριμένα, παρά το γεγονός ότι η ποσότητα της ενέργειας σε ένα κλειστό σύστημα παραμένει πάντοτε σταθερή τείνει να υποβαθμίζεται σε ποιότητα αφού κάποια ποσότητά της καταλήγει να μετατρέπεται σε λιγότερο αξιοποιήσιμες μορφές (όπως η εσωτερική ενέργεια του περιβάλλοντος) οι οποίες δεν συνδέονται με ανιχνεύσιμες μεταβολές σε ιδιότητες των αντικειμένων του συστήματος (π.χ. αύξηση θερμοκρασίας του αέρα). Συνεπώς, τα εμπειρικά δεδομένα από την παρούσα εργασία καταδεικνύουν τις επιπτώσεις της ελλιπούς διδακτικής επεξεργασίας της ιδιότητας της υποβάθμισης και τονίζουν την ανάγκη αναβάθμισης της προσοχής που λαμβάνει.

Έμφαση στις επιστημολογικές διαστάσεις της ενέργειας

Η συνήθης διδακτική προσέγγιση για την ενέργεια περιλαμβάνει την επεξεργασία της στο θεματικό πεδίο της μηχανικής. Συνήθως επιχειρείται ο ορισμός της ενέργειας ως ικανότητας παραγωγής έργου και ακολούθως εισάγονται μαθηματικές σχέσεις για τον υπολογισμό της ενέργειας που αποθηκεύεται σε συγκεκριμένες μορφές και ο νόμος διατήρησής της. Η έμφαση μετατίθεται στη συνέχεια στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων μέσα από την εφαρμογή του νόμου διατήρησης σε συγκεκριμένα μηχανικά συστήματα. Αυτό το πλαίσιο διδασκαλίας τείνει να πιστώνει με «υψηλή επίδοση», την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων με το νόμο διατήρησης (συνήθως ως προϊόν απομνημόνευσης και μηχανικής εφαρμογής συγκεκριμένων στρατηγικών και αλγορίθμων). Ωστόσο, όπως καταγράφεται με συνέπεια στην ερευνητική βιβλιογραφία (Duit, 1984; Driver & Warrington, 1985; Solomon, 1992), και επιβεβαιώνεται επίσης από τα ευρήματα της παρούσας εργασίας, αυτή η προσέγγιση αποτυγχάνει να οδηγήσει σε λειτουργική εννοιολογική κατανόηση. Θα ήταν χρήσιμη μια διαφοροποίηση του σκεπτικού στο οποίο στηρίζεται το παραδοσιακό πρότυπο διδασκαλίας, ώστε η έμφαση να μετατεθεί από την επίλυση ποσοτικών προβλημάτων στη διαχείριση του θεμελιώδους ερωτήματος «τι είναι η ενέργεια, γιατί είναι χρήσιμη και ποια είναι η λειτουργία της στην επιστήμη;». Ένας τρόπος για τη διαχείριση αυτού του ερωτήματος περιλαμβάνει την ανάδειξη των επιστημολογικών διαστάσεων της ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση προωθεί την εισαγωγή της ενέργειας ως ενός θεωρητικού πλαισίου που έχει επινοηθεί για την ανάλυση της συμπεριφοράς φυσικών συστημάτων, ανεξάρτητα από το φαινομενολογικό πεδίο από το οποίο προέρχονται, αναδεικνύοντας έτσι τον ενοποιητικό της χαρακτήρα (Papadouris & Constantinou, 2011; Constantinou & Papadouris, 2012). Αυτά τα στοιχεία διαμορφώνουν ένα πλαίσιο εντός του οποίου καθίσταται εφικτή η εισαγωγή και σταδιακή επεξεργασία των ιδιοτήτων της ενέργειας με τρόπο που τους αποδίδει ρόλο και αξία στην ανάλυση συστημάτων. Για παράδειγμα, επιτρέπεται η ανάδειξη, αφενός, των ιδιοτήτων της διάδοσης και μετατροπής μορφής ως εργαλείων για την ερμηνεία μεταβολών σε φυσικά συστήματα, και, αφετέρου, των ιδιοτήτων της διατήρησης και υποβάθμισης της ενέργειας ως εργαλείων για τη διατύπωση προβλέψεων για την εξέλιξη της συμπεριφοράς φυσικών συστημάτων (π.χ. καθορισμός μεταβολών που αποκλείεται να εμφανιστούν σε ένα σύστημα διότι παραβιάζουν το νόμο διατήρησης και μεταβολών που είναι ιδιαίτερα πιθανό να συμβούν λόγω της τάσης της ενέργειας να υποβαθμίζεται σε ποιότητα). Η ανάδειξη της ενέργειας ως πλαισίου ανάλυσης συστημάτων και η έμφαση στη συνεισφορά των βασικών ιδιοτήτων της στην ερμηνευτική και προβλεπτική του ισχύ, αποτελεί ένα μηχανισμό για μετάβαση από την αποκλειστική επεξεργασία της ενέργειας στη μηχανική προς μια πιο ολιστική αντιμετώπισή της στο πλαίσιο της μακροσκοπικής θερμοδυναμικής. Αυτή η μετάβαση, αφενός, αποκαθιστά τη συμβατότητα της διδασκαλίας με την επιστημολογική δομή της έννοιας της ενέργειας και, αφετέρου, αυξάνει τις πιθανότητες για ανάπτυξη πραγματικής, λειτουργικής κατανόησης.

Αναφορές

- Beishuizen, J., Wilhelm, P., & Schimmel, M. (2004). Computer-supported inquiry learning: effects of training and practice. *Computers & Education*, 42, 389–402.
- AAAS (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: American Association for the Advancement of Science.
- Constantinou, C. P., & Papadouris, N. (2012). Teaching and learning about energy in middle school: An argument for an epistemic approach. *Studies in Science Education*, 48(2), 161-186.
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school: Empirical results from The Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, 59-65.
- Driver, R., & Warrington, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-176.

- Duschl, R.A., Schweingruber, H.A., & Shouse, A.W. (eds.) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington DC: National Academies Press.
- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics - An interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85-106.
- Kruger, C. (1990). Some primary teachers' ideas about energy. *Physics Education*, 25, 86-91.
- Kruger, C., Palacio, D., & Summers, M. (1992). Surveys of English primary teachers' conceptions of force, energy and materials. *Science Education*, 76(4), 339-351.
- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493-517.
- McDermott, L.C., Shaffer, P.S., & Constantinou, C.P. (2000). Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry. *Physics Education*, 35(6), 411-416.
- NRC (2012). *A framework for K-12 Science education: practices, crosscutting concepts, and core Ideas*. Washington: The National Academies Press.
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2011). A philosophically informed teaching proposal on the topic of energy for students aged 11-14. *Science & Education*, 20(10), 961-979.
- Saderholm, J., & Tretter, T. R. (2006). Identification of the most critical content knowledge base for middle school science teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 19(3), 269-283.
- Solomon, J. (1992). *Getting to know about energy: In school and in society*. London: Falmer Press.
- Summers, M., Kruger, C., Mant, J., & Childs, A. (1998). Developing primary teachers' understanding of energy efficiency. *Educational Research*, 40(3), 311-328.
- Tobin, R.G., Crissman, S., Doubler, S., Gallagher, H., Goldstein, G., Lacy, S., Rogers, C.B., Schwartz, J., & Wagoner, P. (2011). Teaching teachers about energy: Lessons from an inquiry-based workshop for K-8 teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 21(5), 631-639.
- Trumper, R. (1998). A longitudinal study of physics students' conceptions on energy in pre-service training for high school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7(4), 311-318.
- Weber, R.P. (1985). *Basic Content Analysis*. Newbury Park, CA: Sage.

Αναφορά στο άρθρο ως: Χατζηγεωργίου, Α., Παπαδούρης Ν., & Κωνσταντίνου Κ. Π. (2013). Ικανότητα προ-υπηρεσιακών εκπαιδευτικών για ανάλυση απλών φυσικών συστημάτων αξιοποιώντας το νόμο διατήρησης της ενέργειας. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 6(1-2), 3-17.

<http://earthlab.uoi.gr/thete/index.php/thete>