

ΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΣ ΕΝΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΓΥΜΝΑΣΙΟ

**Δημήτρης Κολιόπουλος, Ελληνογαλλική Σχολή Αγ. Παρασκευής
Κώστας Ραβάνης, Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών Παν/μίου Πατρών**

1. Η δημιουργία της σχολικής γνώσης

Η δημιουργία της σχολικής γνώσης αποτελεί το σημαντικότερο, ίσως, ζήτημα στα πλαίσια της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών αλλά και κάθε ειδικού διδακτικού αντικειμένου. Πρόκειται για ένα πεδίο μελέτης στο οποίο είναι επιθυμητή η σύγκλιση του συνόλου των σχετικών προβληματισμών, είτε αυτοί προέρχονται από τις ερευνητικές διαδικασίες, είτε από τα ερωτήματα που ανακύπτουν στα πλαίσια της καθημερινής σχολικής πράξης. Στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών τα προβλήματα αυτά είναι πολυδιάστατα και δυσεπίλυτα. Πράγματι, η καθαρή επιστημονική γνώση συγκροτείται με βάση μοντέλα τα οποία μεταφράζουν σε ειδικούς συμβολικούς κώδικες την όποια προσέγγιση της φυσικής πραγματικότητας και είναι αυτονόητο ότι στους κώδικες αυτούς έχουν πρόσβαση μόνο όσοι έχουν εξειδικευμένες γνώσεις. Στην εκπαιδευτική διαδικασία οφείλουμε να αναδομήσουμε τα συμβολικά αυτά συστήματα και με τέτοιες προσαρμογές στα διαφορετικά σχολικά επίπεδα, έτσι ώστε να μεγιστοποιούνται οι πιθανότητες κατανόησης. Επίσης η διδακτική δραστηριότητα οφείλει να οικοδομείται σε πλαίσια τα οποία δεν ευνοούν απλώς την ενασχόληση με τα γνωστικά περιεχόμενα, αλλά και την ανάπτυξη της αυτονομίας, τη διαμόρφωση συνθηκών, στάσεων και αξιών. Έτσι τίθεται το ζήτημα της σχολικής γνώσης, της *σχολικής επιστήμης* όπως έχει αποκληθεί, σε σχέση με τη βιωματική ή την επιστημονική γνώση (Κουλαϊδής & Κουζέλης, 1990).

Η έννοια του *διδακτικού μετασχηματισμού* παρουσιάστηκε κατ' αρχήν στη Διδακτική των Μαθηματικών από τον Chevallard (1985) ως "εργασία κατά την οποία η επιστημονική γνώση που πρόκειται να διδαχτεί μετατρέπεται σε αντικείμενο διδασκαλίας". Ο Halbwichs (1975) για τη διδασκαλία της Φυσικής, αναγνώρισε την ανάγκη συγκρότησης μίας "Φυσικής του δασκάλου", η οποία πρέπει να βρίσκεται μεταξύ της "Φυσικής του φυσικού" και της "Φυσικής του μαθητή". Όμως, για τον Martinand (1986), δεν μπορούμε να αποδεχτούμε μία σειρά διαδοχικών "ελαττώσεων" οι οποίες αναζητούν την κλιμάκωση απλού-σύνθετου βασισμένες σε εκτιμήσεις που καθοδηγούνται από την ίδια την έρευνα των Φυσικών Επιστημών. Οφείλουμε να εντοπίσουμε και να διατυπώσουμε τις διαφορές μεταξύ εκπαιδευτικών πρακτικών και των λειτουργιών τους, πριν κάνουμε την επιλογή των προνομιακών αναφορών οι οποίες θεω-

ρούνται κατάλληλες για την εκπαιδευτική διαδικασία. Η εργασία αυτή, όπως παρατήρησαν οι Astolfi και Develay (1989), είναι εξαιρετικά λεπτή γιατί επιβάλλει τη ριζική αλλαγή της φύσης των επιστημονικών εννοιών εφ' όσον καθιστά υποχρεωτική τη μετατόπιση των αρχικών ερωτημάτων που παρήγαγαν τις έννοιες, αλλά και το δίκτυο των σχέσεων αλληλεπίδρασης με άλλες έννοιες. Πρόκειται, κατά κάποιον τρόπο, για μία ολοκληρωτική εγκατάλειψη του επιστημολογικού πλαισίου συγκρότησης των επιστημονικών εννοιών και την υιοθέτηση μιας σχολικής επιστημολογίας. Πράγματι, οι εκπαιδευτικές σκοπιμότητες και επιλογές επιβάλλουν δραστηριότητες όπως ο τεμαχισμός του επιστημονικού αντικειμένου σε ενότητες, ο σχεδιασμός πρακτικών δραστηριοτήτων άσκησης, η δημιουργία προβλημάτων επίλυσης, η αξιολόγηση και οι εξετάσεις. Οι διαδικασίες αυτές όμως, είναι φανερό ότι δεν έχουν καμία σχέση με τις αναγκαιότητες της ανάπτυξης των ίδιων των Φυσικών Επιστημών, αλλά αποκλειστικά και μόνο με τις προσπάθειες κατασκευής της σχολικής γνώσης.

Όμως, πως θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες επεξεργασίες ώστε να αποφεύγεται η εμπειρική συγκρότηση των διδακτικών αντικειμένων; Από που θα αντλήσουμε εργαλεία τα οποία θα εμποδίσουν τη μετατροπή μιας συστηματικής διαδικασίας μελέτης για τη δημιουργία κάθε μορφής εκπαιδευτικού υλικού, σε μία τεχνική δραστηριότητα "απλοποίησης" των επιστημονικών αντικειμένων με τη συνακόλουθη ελλειμματικότητα και αναποτελεσματικότητα που αυτή συνεπάγεται; Οι ερευνητικές παραδόσεις της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών μας οδηγούν κατ' αρχήν στην αξιοποίηση των βιωματικών νοητικών παραστάσεων των μαθητών, ο εντοπισμός των οποίων αναδεικνύει τα γνωστικά εμπόδια της σκέψης τους και προσανατολίζει αναλόγως όλες τις σχετικές εκπαιδευτικές προτάσεις. Ένα επίσης κατάλληλο εργαλείο το οποίο επιτρέπει τη μελέτη άλλων όψεων των προβλημάτων του διδακτικού μετασχηματισμού, που προέρχονται, όχι από τους μαθητές αλλά, από το ίδιο το επιστημονικό αντικείμενο, είναι η επιστημολογική ανάλυση. Ο όρος "επιστημολογική ανάλυση" νοείται εδώ ως η προσέγγιση της ιστορίας, του περιεχομένου, της δομής και των διαδικασιών συγκρότησης ενός συγκεκριμένου αντικειμένου της επιστήμης, με στόχο τη μάθηση και τη διδασκαλία αυτού του αντικειμένου στα πλαίσια μιας εκπαιδευτικής διαδικασίας.

Ο Piaget (1974), υποστήριξε ότι υπάρχει μία αξιοσημείωτη ομοιότητα ανάμεσα στη συγκρότηση της επιστημονικής γνώσης στο άτομο και στην ιστορική ανάπτυξη των ιδεών στην επιστήμη. Η ομοιότητα αυτή εντοπίζεται περισσότερο στα νοητικά εργαλεία όπως η γενίκευση, στις διαδικασίες όπως η διαρκής αναζήτηση αιτιών και στους μηχανισμούς όπως αυτός της εξισορρόπησης, παρά στην ανάπτυξη συγκεκριμένων εννοιών των Φυσικών Επιστημών (Piaget & Garcia, 1983). Η τάση αυτή ανιχνεύεται από τους Βοσνιάδου και Brewer (1992) σε πολλούς ερευνητές. Αλλά και προσεγγίσεις οι οποίες δεν υποστηρίζουν ότι η “οντογενετική” αλλαγή επαναλαμβάνει την “φυλογενετική” αλλαγή, προτείνουν “να θεωρήσουμε την Ιστορία των Φυσικών Επιστημών σαν αποθήκη γνώσεων που μας καθοδηγούν στην κατασκευή, αλλαγή και επικοινωνία των επιστημονικών αναπαραστάσεων... Η μελέτη της ιστορίας των επιστημονικών αλλαγών, θα μας βοηθήσει να διακρίνουμε τις ειδικές διαδικασίες οι οποίες παράγουν τις νέες επιστημονικές εννοιολογικές δομές... και μετά να ενσωματώσουμε ότι μάθαμε για το πώς οι επιστήμονες κατασκεύασαν τις εννοιολογικές αλλαγές στις διδακτικές διαδικασίες” (Nersessian, 1994). Την μελέτη της ιστορίας των Φυσικών Επιστημών χρησιμοποιούν, επίσης, νεώτεροι ερευνητές με στόχο τη βελτίωση της κατανόησης της εννοιολογικής δομής μιας επιστήμης από τους μαθητές (Franco & Colinvaux de Dominguez, 1992). Μια άλλη ερευνητική τάση χρησιμοποιεί αυστηρά επιστημολογικά κριτήρια, όπως αυτά που συναντούμε σε σύγχρονες επιστημολογικές θεωρίες, για να αναλύσει και ερμηνεύσει τις αντιλήψεις των μαθητών για τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών και τις παρατηρούμενες σε αυτούς αλλαγές στη νοητική συγκρότηση. Για παράδειγμα, οι Posner et al. (1982) καταφεύγουν στις έννοιες “επιστημονική επανάσταση” του Kuhn και “αλλαγή ερευνητικού προγράμματος” του Lakatos για να περιγράψουν και ερμηνεύσουν τις ριζικές αλλαγές στη σκέψη των παιδιών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των μαθησιακών διαδικασιών.

Παράλληλα, όμως με τις προηγούμενες ερευνητικές προσεγγίσεις οι οποίες επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους στα προβλήματα της μάθησης, σε μία άλλη κατεύθυνση η επιστημολογική ανάλυση μπορεί να έχει ως άμεσο στόχο την δημιουργία αναλυτικών προγραμμάτων των Φυσικών Επιστημών με αυξημένη επιστημολογική και φιλοσοφική εγκυρότητα. Ο Hodson (1988) για παράδειγμα, ερμηνεύει την αποτυχία των καινοτομικών προγραμμάτων (όπως το PSSC στις Ηνωμένες Πολιτείες και το Nuffield στη Μεγάλη Βρετανία) να προσεγγίσουν ορισμένους γνωστικούς στόχους στην φιλοσοφική τους σύγχυση. Προτείνει, λοιπόν, να λαμβάνονται υπ’ όψη στη κατασκευή αναλυτικών προγραμμάτων σύγχρονες επιστημολογικές αντιλήψεις όπως το ότι το πείραμα δεν προηγείται της θεωρίας αλλά, αντίθετα, αποκτά νόημα απ’ αυτή ή τη χρήση εξηγητικών μοντέλων. “Το μεγαλύτερο πρόβλημα με την επιστημονική θεωρία στα σχολεία”, ισχυρίζεται ο

Hodson, “δεν είναι η εννοιολογική της κατανόηση αλλά η ορθή χρήση της”. Παρόμοιες απόψεις διατυπώνει σε ένα άρθρο επισκόπησης ο Matthews (1992), ο οποίος, μεταξύ άλλων, θίγει και το θέμα της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών σε θέματα επιστημολογίας των Φυσικών Επιστημών. Τέλος, διάφοροι ερευνητές, χρησιμοποιώντας ως μεθοδολογικό εργαλείο την ανάλυση των ακαδημαϊκών συγγραμμάτων αναφοράς, προχωρούν στην εννοιολογική ανάλυση του περιεχομένου διαφόρων εννοιών των φυσικών επιστημών με στόχο να ταξινομήσουν, διαφωτίσουν, αποσαφηνίσουν και αναδείξουν στοιχεία του περιεχομένου της επιστήμης τα οποία χρησιμοποιούν ως γνώση αναφοράς στους διδακτικούς σχεδιασμούς τους (Κουμαράς, 1989, Καριώτογλου, 1990, Lemeignan & Weil-Barais, 1993).

Στο άρθρο αυτό, θα επιχειρήσουμε κατ’ αρχήν να πραγματοποιήσουμε μία επιστημολογική ανάλυση της έννοιας της ενέργειας προσανατολισμένη σε μία συγκριτική μελέτη του περιεχομένου της έννοιας της ενέργειας στη Μηχανική και τη Θερμοδυναμική. Στη συνέχεια με βάση την ανάλυση αυτή, θα παρουσιάσουμε τα βασικά στοιχεία ενός εισαγωγικού αναλυτικού προγράμματος για την έννοια της ενέργειας στο επίπεδο του Γυμνασίου, στοιχεία τα οποία έρχονται σε πλήρη αντίθεση με τις στερεότυπες αντιλήψεις για την εισαγωγή της ενέργειας στα σχολικά προγράμματα.

2. Η έννοια της ενέργειας στη Μηχανική και τη Θερμοδυναμική: μία συγκριτική προσέγγιση

2.1. Τα πεδία φαινομένων και τα αντικείμενα μελέτης της Μηχανικής και της Θερμοδυναμικής.

Κατά τη μελέτη των μηχανικών φαινομένων τα πραγματικά αντικείμενα μετατρέπονται σε αφηρημένες οντότητες. Μία σειρά από έννοιες όπως υλικό σημείο, σύστημα υλικών σημείων, κλειστό και ανοικτό σύστημα, κέντρο μάζας, οδηγούν τελικώς σε μία θεωρητική κατασκευή, τη Μηχανική του κέντρου μάζας, η οποία αποτελεί το πλαίσιο αναφοράς των σχολικών αναλυτικών προγραμμάτων. Τα συνηθέστερα συστήματα στα οποία επιχειρούνται ενεργειακές προσεγγίσεις είναι γεωμετρικά σώματα (κύβος, κιβώτιο, σφαίρα), συνήθη μεταφορικά μέσα (αυτοκίνητο, ποδήλατο κλπ), αντικείμενα ειδικά κατασκευασμένα για πειράματα (δρομέας σε αεροδιάδρομο), το απλό εκκρεμές, το ελατήριο και οι μοχλοί.

Στο πλαίσιο της μακροσκοπικής Θερμοδυναμικής, έννοιες όπως κλειστό ή απομονωμένο σύστημα, θερμοδυναμική κατάσταση ή ισορροπία, θεμελιώνουν ως βασική θεωρητική κατασκευή το θερμοδυναμικό σύστημα. Ως απλά θερμοδυναμικά συστήματα μελετήθηκαν οι θερμικές μηχανές ή αμιγώς *θερμικά συστήματα*, δηλαδή, συστήματα που υφίστανται μόνο θερμικές μεταβολές. Η Θερμοδυναμική, όμως, μελετά και πιο πολύπλοκα συστήματα όπως αυτά όπου λαμβάνονται υπ’ όψη οι ηλεκτρικές, μαγνητικές, οπτικές ή χημικές

ιδιότητες τους ή υπόκεινται στην επίδραση εξωτερικών δυναμικών πεδίων. Τέλος, στα πλαίσια της Θερμοδυναμικής μπορεί κανείς να μελετήσει αμιγώς μηχανικά φαινόμενα. Στην περίπτωση αυτή, βεβαίως, τα φυσικά αντικείμενα δεν αντιμετωπίζονται ως υλικά σημεία ή στερεά σώματα όπως γίνεται στη Μηχανική, αλλά ως *μηχανικά συστήματα* με τη θερμοδυναμική έννοια του όρου.

Το πεδίο φαινομένων της Θερμοδυναμικής, λοιπόν, είναι ευρύτερο απ' αυτό της Μηχανικής αφού περιλαμβάνει, εκτός από μηχανικά φαινόμενα, φαινόμενα που συσχετίζονται με άλλους τομείς της επιστήμης όπως, π.χ., ο Ηλεκτρομαγνητισμός. Η κυριότερη, όμως, διαφορά των δύο θεωρητικών πλαισίων, όσον αφορά στο πεδίο εφαρμογής τους, έχει σχέση με τον διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της Θερμοδυναμικής η οποία μελετά φαινόμενα μετατροπής. Σχετικά με τον χαρακτήρα της Θερμοδυναμικής, ο Bory (1974) αναφέρει ότι "η θερμοδυναμική δεν είναι ένας ειδικός κλάδος των φυσικών επιστημών που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη μιας κατηγορίας φαινομένων αλλά πρόκειται μάλλον για ένα είδος μελέτης που εφαρμόζεται παντού, ένας τρόπος να αντιλαμβάνεται κανείς [τα φαινόμενα]". Εξ αιτίας, λοιπόν, της φύσης των φαινομένων η έννοια της ενέργειας καθίσταται αναγκαία στη λύση θερμοδυναμικών προβλημάτων, πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει κατ' ανάγκη με τα μηχανικά φαινόμενα. Η δεύτερη βασική διαφορά εντοπίζεται στη φύση των θεμελιωδών θεωρητικών κατασκευών εντός των οποίων μελετώνται τα φυσικά συστήματα. Στο θεωρητικό πλαίσιο της Μηχανικής, ένα σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως υλικό σημείο ή στερεό σώμα, ενώ στη Θερμοδυναμική ως θερμοδυναμικό σύστημα. Η διαφορά αυτή στον εννοιολογικό μετασχηματισμό των μηχανικών αντικειμένων και φαινομένων στα δύο θεωρητικά πλαίσια δεν είναι τυπική αλλά ουσιαστική. Οι Prigogine και Stengers (1979), αναφερόμενοι στη γέννηση της επιστήμης της Θερμοδυναμικής, επισημαίνουν ότι "το θερμοδυναμικό αντικείμενο ενέχει, σε σχέση με το δυναμικό αντικείμενο, μια νέα οπτική γωνία για τις φυσικές μεταβολές. Δεν πρόκειται πλέον για την παρατήρηση μιας εξελικτικής πορείας και την πρόβλεψη της υπολογίζοντας το αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος. Πρόκειται για τη δράση πάνω σ' ένα σύστημα και την πρόβλεψη των αντιδράσεών του στην επιβαλλόμενη μεταβολή". Η θεμελιώδης αυτή διαφορά στο τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται ένα μηχανικό ή θερμοδυναμικό σύστημα, δηλαδή, η διαφορά στο χειρισμό του συστήματος έχει άμεση σχέση με το νόημα των ενεργειακών εννοιών που χρησιμοποιούνται. Το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι αυτό της έννοιας του έργου, το οποίο ως μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας έχει νόημα μόνο στο χειρισμό ενός θερμοδυναμικού συστήματος.

2.2. Το συστημικό και εμπειρικό νόημα της ενέργειας

Η θεμελιώδης ενεργειακή σχέση στο πλαίσιο της Μηχανικής είναι η αρχή διατήρησης της ενέργειας, η οποία παίρνει διαφορετικές μορφές ανάλογα με το φυσικό σύστημα και το είδος του μελετούμενου προβλήματος. Κατά μια συνήθη απλή διατύπωσή της, σε ένα κλειστό μηχανικό κινούμενο σύστημα το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας παραμένει σταθερό. Η μαθηματική μορφή αυτής της διατύπωσης είναι: $E_k + E_p = E$ ή $\Delta E_k + \Delta E_p = 0$, η οποία προέρχεται από το 2ο νόμο του Νεύτωνα με ολοκλήρωση της δύναμης ως προς τη θέση. Το ολοκλήρωμα αυτό ονομάζεται έργο δύναμης (W) (Goldstein, 1980). Μια πρώτη γενική μορφή που μπορεί να πάρει μετά την ολοκλήρωση η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας είναι η $\Sigma W = \Delta E_k$, δηλαδή, το άθροισμα των έργων των δυνάμεων που δρουν στο σύστημα είναι ίσο με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του συστήματος. Τη μορφή αυτή ονομάζουμε, συνήθως, *θεώρημα έργου-ενέργειας*. Αν, συγχρόνως με την προηγούμενη διαδικασία ληφθεί υπ' όψη και η έννοια της συντηρητικής δύναμης ώστε στη μαθηματική οντότητα του έργου να μπορεί να αποδοθεί η έννοια της μεταβολής της δυναμικής ενέργειας, τότε καταλήγουμε στην αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας όπως τη διατυπώσαμε. Είναι, πάντως, αξιοσημείωτο, ότι στην προηγούμενη διαδικασία πρωταρχικό ρόλο παίζει η έννοια του έργου η οποία συνδέει την νευτωνική δύναμη με τις ενεργειακές έννοιες. Ουσιαστικά, η έννοια της ενέργειας παράγεται από την έννοια του έργου. Γι' αυτό άλλωστε, πολλά εισαγωγικά πανεπιστημιακά συγγράμματα και διδακτικά εγχειρίδια μικρότερων βαθμίδων της εκπαίδευσης, εισάγουν την έννοια της ενέργειας ξεκινώντας από την έννοια του έργου.

Στην ίδια μαθηματική διατύπωση μπορούμε να φθάσουμε, όμως, και από τις μαθηματικές διατυπώσεις της αναλυτικής μηχανικής. Τόσο οι εξισώσεις Lagrange, όσο και οι εξισώσεις Hamilton, αποτελούν ισοδύναμες περιγραφές της κίνησης των μηχανικών συστημάτων. Αν πάρουμε την περίπτωση των εξισώσεων Lagrange όπου η περιγραφή της μηχανικής κατάστασης ενός συστήματος γίνεται με το καθορισμό των γενικευμένων συντεταγμένων και των ταχυτήτων του συστήματος, τότε με τη διαδικασία της παραγωγής της Lagrangian καταλήγουμε σε ένα *ολοκλήρωμα της κίνησης* που ονομάζουμε ενέργεια του συστήματος. Από το ολοκλήρωμα αυτό της κίνησης, το οποίο παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια της κίνησης του κλειστού συστήματος, καταλήγουμε στην αρχική διατύπωση της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας (Landau & Lifchitz, 1971. Goldstein, 1980). Οι επισημάνσεις αυτές, παραπέμπουν όχι μόνο στο *αυστηρά συστημικό-μαθηματικό νόημα* που αποκτά η έννοια της ενέργειας στη Μηχανική, αλλά και το γεγονός ότι πρόκειται για μια *παράγωγη έννοια* η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί

στη μελέτη των μηχανικών φαινομένων, ως εναλλακτική προσέγγιση σε σχέση με άλλα συστήματα μη ενεργειακών εννοιών.

Η έννοια της ενέργειας στη Θερμοδυναμική και τις ισοδύναμες μεταγενέστερες μαθηματικές περιγραφές της (Legendre, Καραθεοδωρή), παύει πλέον να είναι παράγωγη έννοια και αποκτά αυτονομία, ορίζεται, δηλαδή, ως φυσική οντότητα ανεξάρτητα από άλλα φυσικά μεγέθη. Άλλωστε, όπως δείχνει και η ιστοριογραφική μελέτη (Κολιόπουλος, 1997), η έννοια της ενέργειας δεν προέκυψε από μια γραμμική εξελικτική διαδικασία στα πλαίσια της Μηχανικής, δηλαδή, ως εξέλιξη κάποιας δυναμικής έννοιας, αλλά από μια συνθετική διαδικασία που περιείχε εννοιολογικά στοιχεία από πολλούς τομείς της Φυσικής και κυρίως τον τομέα των θερμικών φαινομένων. Εξ αιτίας αυτής της εξελικτικής πορείας, η έννοια της ενέργειας αποκτά διαφορετικό περιεχόμενο αφού εντάσσεται, πλέον, σε ένα ευρύτερο και ποιοτικά διαφορετικό εννοιολογικό πλαίσιο, αυτό της Θερμοδυναμικής. Όπως και στη Μηχανική, η έννοια της ενέργειας αποκτά νόημα μέσα σε μια σχέση διατήρησης η οποία στη Θερμοδυναμική ονομάζεται, συνήθως, *πρώτος θερμοδυναμικός νόμος*.

Σύμφωνα με το Bory (1974), "ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος περικλείει τρεις ιδέες: (α) την ιδέα της ισοδυναμίας θερμότητας-έργου, β) την ιδέα της διατήρησης που ισχύει, σε ορισμένες περιπτώσεις, μεμονωμένα για τη θερμότητα και το έργο αλλά γενικεύεται και για τις δύο έννοιες και (γ) την ιδέα της *αποθήκευσης* η οποία ταυτίζεται ουσιαστικά με την έννοια της ενέργειας και η οποία είναι απαραίτητη για να εξασφαλισθεί η διατήρηση σε όλες τις περιπτώσεις". Ο Bory αναφέρεται στην απλούστερη μορφή του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου όπου δεν λαμβάνονται υπ' όψη άλλες μετατροπές εκτός απ' αυτή του έργου σε θερμότητα. Η μορφή του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου με διευρυμένο το φαινομενολογικό πεδίο εφαρμογής του προφανώς, όχι μόνο δεν αλλάζει τίποτε στη προβληματική αυτή, αλλά αντιθέτως την ενισχύει. Από τις τρεις αυτές ιδέες, η πρώτη και η τρίτη δεν ανήκουν στο εννοιολογικό δυναμικό της Μηχανικής. Η τελευταία μάλιστα, συμπληρώνει το τετράπτυχο των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν την έννοια της ενέργειας, οι οποίες έχουν επισημανθεί σε μία ιστοριογραφική προσέγγιση: *διατήρηση, μετατροπή, μεταφορά, αποθήκευση* (Κολιόπουλος, 1997). Σε αντίθεση με το πλαίσιο της Μηχανικής στο οποίο γίνεται λειτουργική χρήση μόνο της έννοιας της διατήρησης (και σπανίως της έννοιας της μεταφοράς), το πλαίσιο της Θερμοδυναμικής περιλαμβάνει και τις τέσσερις αυτές έννοιες οι οποίες επηρεάζουν, λιγότερο ή περισσότερο το περιεχόμενο της έννοιας της ενέργειας. Οι τρεις ιδέες στις οποίες αναφερθήκαμε, εφαρμόζονται, πλέον, σε ευρύτερο φαινομενολογικό πεδίο από εκείνο της Μηχανικής και αφορούν θερμοδυναμικά συστήματα και όχι συστήματα υλικών σημείων, νομίζουμε ότι προσδίδουν, ήδη, στη Θερμοδυναμική μια σχετική εννοιολογική αυτονομία

ως προς το πλαίσιο της Μηχανικής. Η αυτονομία αυτή διευρύνεται, βέβαια, αν λάβουμε υπ' όψη μας και το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο ο οποίος συμπληρώνει το θερμοδυναμικό οικοδόμημα. Ο νόμος αυτός δεν βρίσκει αντιστοιχία στο εννοιολογικό πλαίσιο της Μηχανικής, όπως και η θεμελιώδης έννοια της εντροπίας που εμπεριέχει, αφού αναφέρεται στις μη αντιστρεπτές φυσικές μεταβολές οι οποίες δεν συνιστούν για τη Μηχανική αντικείμενο πραγμάτευσης.

2.3. Τα όρια της εφαρμογής της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη Μηχανική και η εφαρμογή του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος στα μηχανικά φαινόμενα

Αν όμως, όπως οδηγείται η ανάλυσή μας, η συγκρότηση της Θερμοδυναμικής την καθιστά ευνοϊκότερη για την εισαγωγή της έννοιας της ενέργειας σε σχέση με τη Μηχανική, μήπως στο πεδίο των εφαρμογών της ίδιας της Μηχανικής προσφέρει επίσης κάποια πλεονεκτήματα; Εξετάζοντας ένα πρόβλημα κίνησης γνωρίζουμε ότι παύει να είναι καθαρά μηχανικό, αν το σύστημα δεν κινείται στο κενό αλλά σε κάποιο μέσο του οποίου η επίδραση δεν θεωρείται αμελητέα. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη η κίνηση του μέσου καθώς και οι θερμικές καταστάσεις μέσου και μηχανικού συστήματος και συνεπώς, αρχίζουν να παρουσιάζονται δυσκολίες στην εφαρμογή της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Τα όρια εφαρμογής διαφόρων μορφών αρχής διατήρησης της ενέργειας στα πλαίσια της Μηχανικής, εμφανίζονται πολύ καθαρά όταν στο μηχανικό σύστημα ασκηθούν δυνάμεις τριβής. Παραθέτουμε ένα χαρακτηριστικό απόσπασμα από την ανάλυση που επιχειρεί ο Arons (1992), δείχνοντας ακριβώς την αδυναμία του θεωρήματος έργου κέντρου μάζας - ενέργειας να περιγράψει ένα φαινόμενο κίνησης όπου υπεισέρχονται δυνάμεις τριβής. "Άλλο παράδειγμα που καταδεικνύει ότι κάτι δεν πάει καλά", γράφει, "εμφανίζεται στην απλούστατη περίπτωση κατά την οποία πάνω στο πάτωμα, στο οποίο υπάρχουν τριβές, σπρώχνουμε με σταθερή ταχύτητα ένα κιβώτιο. Αν συμβολίσουμε με T τη δύναμη τριβής ολίσθησης και με Δx_{KM} τη μετατόπιση του κέντρου μάζας τότε το θεώρημα έργου - ενέργειας παίρνει τη μορφή: $F \Delta x_{KM} - T \Delta x_{KM} = 0$. Η εξίσωση αυτή σημαίνει ότι το συνολικό έργο που προσφέρθηκε στο κιβώτιο είναι μηδενικό. Ωστόσο, στηριζόμενοι στις βαθύτερες γνώσεις μας για τις μετατροπές της ενέργειας, γνωρίζουμε ότι στο σύστημα κιβώτιο - δάπεδο έχει, όντως, προσφερθεί ποσότητα έργου. Γνωρίζουμε, επίσης, ότι έχει εμφανισθεί ισοδύναμη ποσότητα θερμικής ενέργειας, η οποία συνδέεται με την άνοδο της θερμοκρασίας του κιβωτίου και του δαπέδου... Τα προβλήματα πηγάζουν από το ότι [η προηγούμενη εξίσωση] είναι όντως εξίσωση ενέργειας, αλλά μόνο για σύστημα σημειακής μάζας, χωρίς τριβή και εσωτερικούς βαθμούς ελευθερίας. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι εξισώσεις δεν ισχύουν ή ότι είναι λανθασμένες... Οι αντιφάσεις

οφείλονται, λοιπόν, στη λανθασμένη και ασυνεπή επίκληση των εννοιών που σχετίζονται με την ενέργεια”.

Ποιά είναι, όμως η σωστή και συνεπής επίκληση ενεργειακών εννοιών σε περιπτώσεις όπως οι προηγούμενες; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό απαιτεί, όπως θα δούμε στη συνέχεια, την αλλαγή του πλαισίου μελέτης αυτών των προβλημάτων, δηλαδή, την υιοθέτηση του εννοιολογικού συστήματος της Θερμοδυναμικής. Στη Θερμοδυναμική πρέπει, επίσης, να καταφύγουμε για να μελετήσουμε μηχανικά προβλήματα στα οποία, όμως, εμφανίζονται διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στο κινούμενο μηχανικό σύστημα και στο περιβάλλον μέσον (π.χ., στον αέρα). Ακριβώς μια τέτοια περίπτωση μελετούν οι Barrat και Guinier (1980), οι οποίοι δείχνουν ότι στη περίπτωση της επιμήκυνσης ενός ελατηρίου του οποίου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (ισόθερμη μεταβολή), η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στο ελατήριο από τον περιβάλλοντα αέρα δεν είναι αμελητέα σε σχέση με το παραγόμενο έργο πάνω στο ελατήριο και αυτό έχει επιπτώσεις στον υπολογισμό της μεταβολής της ενέργειάς του. Άλλωστε ακόμα και στο επίπεδο των διατυπώσεων εκφράσεις όπως “το συνολικό έργο που προσφέρθηκε στο κιβώτιο” και “ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στο ελατήριο από τον περιβάλλοντα αέρα”, ανήκουν στο εννοιολογικό σύστημα της Θερμοδυναμικής.

Οι διάφορες μορφές της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας, λοιπόν, έχουν όρια εφαρμογής στα μηχανικά συστήματα. Τα όρια αυτά εντοπίζονται στις εξής δύο περιπτώσεις: (α) αν υπάρχει μεταφορά θερμότητας από ή προς το μηχανικό σύστημα και (β) αν η αλληλεπίδραση του συστήματος με άλλα προκαλεί μεταβολή της εσωτερικής ενέργειάς του (εκτός από τη μεταβολή που προκαλείται, ίσως, στην κινητική και δυναμική του ενέργεια). Τις περιπτώσεις αυτές μελετά επιτυχώς η Θερμοδυναμική με βάση το πρώτο θερμοδυναμικό νόμο στη γενική του μορφή: $\Delta(E_K + E_\delta + U) = Q + W$. Αν η μεταβολή του μηχανικού συστήματος είναι αδιαβατική ($Q = 0$), μια περίπτωση συνήθης σε μηχανικά προβλήματα, τότε ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος περιορίζεται στη μορφή: $\Delta E_K + \Delta E_\delta + \Delta U = W$, όπου ΔE_K και ΔE_δ οι μεταβολές της κινητικής και δυναμικής ενέργειάς του, ΔU η μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας (η οποία, αν δεν υπάρξει αναδιάρθρωση στην εσωτερική δομή του συστήματος θα μπορούσε να ονομαστεί μεταβολή της θερμικής ενέργειας) και W το μηχανικό έργο που μεταφέρεται δια των ορίων του συστήματος.

Η ποιοτική διαφορά ανάμεσα στην προηγούμενη μορφή του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου η οποία είναι κατάλληλη για τη μελέτη μηχανικών προβλημάτων και στην αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας (ή καλύτερα στο θεώρημα έργου-ενέργειας), φαίνεται πολύ καλά στο συγκεκριμένο παράδειγμα που αναφέρει ο Arons (1992). Για ένα σώμα που κινείται ευθύ-

γραμμα πάνω σε πάτωμα και στο οποίο ασκούνται οι οριζόντιες δυνάμεις F (με φορά τη φορά κίνησης του σώματος) και T (με φορά αντίθετη της φοράς κίνησης του σώματος), ισχύουν δύο εξισώσεις: (α) $F_{ολ} \Delta x_{KM} = \Delta(1/2 m v_{KM}^2)$, στα πλαίσια του εννοιολογικού πλαισίου της Μηχανικής που εφαρμόζεται στο μηχανικό σύστημα σώμα και (β) $\Delta E_K + \Delta U = W$, στα πλαίσια του εννοιολογικού πλαισίου της Θερμοδυναμικής που εφαρμόζεται στο σύστημα σώμα - πάτωμα, αφού είναι αδύνατο να υπολογίσει κανείς το έργο της δύναμης της τριβής στα όρια της διαχωριστικής επιφάνειας. Αν απλοποιήσουμε ακόμα το πρόβλημα, θεωρώντας ότι το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα, και προσαρμόσουμε σε αυτό τις δύο εξισώσεις θα καταλήξουμε στις αντίστοιχες σχέσεις: $F \Delta x_{KM} = T \Delta x_{KM}$ και $\Delta U = F \Delta x_{KM}$. Η πρώτη εξίσωση δεν μας προσφέρει καμία πληροφορία για τις ενεργειακές μεταβολές του συστήματος. Αντίθετα, από τη δεύτερη συμπεραίνουμε ότι η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας (που, στη περίπτωση αυτή μπορούμε να αποκαλέσουμε θερμική ενέργεια) του συστήματος ισούται ακριβώς με τη ποσότητα του έργου της δύναμης F η οποία δεν μετατράπηκε σε κινητική ενέργεια του σώματος. Επίσης, πρέπει να επισημάνουμε ότι ο συνήθης σχολιασμός για το συγκεκριμένο πρόβλημα “το έργο μετατρέπεται σε θερμότητα”, αποδεικνύεται λανθασμένη αφού, σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, το μεταφερόμενο (δαπανώμενο) έργο συντελεί στην αύξηση της εσωτερικής ενέργειας και, συνεπώς, στην αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος χωρίς, βεβαίως, να είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε ακριβώς τη κατανομή αυτής της αύξησης στη διαχωριστική επιφάνεια. Συγκρίνοντας την εξίσωση της Μηχανικής και την εξίσωση της Θερμοδυναμικής παρατηρούμε “ότι η ποσότητα $F \Delta x_{KM}$ είναι το πραγματικό έργο που εκτελείται στο σύστημα σώμα - πάτωμα, ενώ η ποσότητα $T \Delta x_{KM}$ είναι το ψευδοέργο που εκτελείται στο σώμα. Αν η F είναι συμπτωματικά ίση (κατά μέτρο) με την T , οπότε το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα, το ψευδοέργο είναι, επίσης συμπτωματικά, ίσο με το πραγματικό έργο. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι οι δύο ποσότητες ταυτίζονται νοηματικά και ότι το έργο που εκτελείται στο σύστημα είναι μηδενικό” (Arons, 1992).

Ανάλογες εννοιολογικές διαφορές ανάμεσα στην εφαρμογή της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας (ή του θεωρήματος έργου-ενέργειας) και του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου έχουν επισημανθεί και περιγραφεί και σε άλλα είδη μηχανικών φαινομένων, όπως στη διακοπή της κίνησης ενός κινητού σε μια πλαστική σύγκρουση, καθώς και στη παραμόρφωση σωμάτων και στη περιστροφική κίνηση (Arons, 1992). Τα σημαντικά συμπεράσματα, πάντως, από την προηγούμενη ανάλυση του ειδικού αλλά αποκαλυπτικού παραδείγματος, είναι το πόσο λειτουργική μπορεί να αποδειχθεί η θερμοδυναμική προσέγγιση στη μελέτη των αμιγώς μηχανικών φαινομένων και, κυρίως, η ανά-

δειξη και αποσαφήνιση εννοιολογικών διαφορών στα διάφορα ενεργειακά φυσικά μεγέθη που υπεισέρχονται στις ενεργειακές σχέσεις.

Προσπαθώντας λοιπόν να προσεγγίσουμε συγκριτικά τα δύο πλαίσια διακρίνουμε ως ενοποιητικό στοιχείο τους την χρήση της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Όμως η σημασία που αποκτά η έννοια της ενέργειας στα πλαίσια της αρχής αυτής, παρουσιάζει διαφορές στα δύο θεωρητικά πλαίσια. Οι διαφορές αυτές εντοπίζονται: (α) στη σχέση της αρχής διατήρησης με το υπόλοιπο εννοιολογικό δίκτυο του θεωρητικού πλαισίου, (β) στις μορφές που μπορεί να πάρει η αρχή διατήρησης και (γ) στο νόημα που αποκτούν οι διάφορες ενεργειακές έννοιες στα πλαίσια κάθε μορφής της αρχής διατήρησης.

(α) Στο θεωρητικό πλαίσιο της Μηχανικής, η αρχή διατήρησης της ενέργειας λειτουργεί ως παράγωγη μαθηματική αρχή της νευτωνικής μηχανικής. Αυτό σημαίνει ότι τα μηχανικά προβλήματα μπορούν να αντιμετωπισθούν εναλλακτικά, δηλαδή, είτε δυναμικά, είτε ενεργειακά. Βεβαίως, το είδος του προβλήματος μπορεί να ευνοεί την ενεργειακή προσέγγιση (π.χ., προβλήματα κρούσεων), αλλά γενικά έχουμε τη δυνατότητα να επιλύσουμε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων Μηχανικής χωρίς τη προσφυγή σε ενεργειακές αντιλήψεις. Αντίθετα, η αρχή διατήρησης της ενέργειας στη Θερμοδυναμική αποτελεί (μαζί με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο) το μοναδικό εννοιολογικό πλαίσιο πραγμάτευσης αντίστοιχων φυσικών φαινομένων. Η Θερμοδυναμική είναι άλλωστε, η κατ' εξοχήν επιστήμη της ενέργειας αποτελεί δηλαδή, το προνομιακό πεδίο εφαρμογής της έννοιας της ενέργειας.

(β) Μια δεύτερη βασική διαφορά εντοπίζεται στο διαφορετικό συστημικό-μαθηματικό και εμπειρικό περιεχόμενο της έννοιας της ενέργειας, δηλαδή, στις μορφές που μπορεί να πάρει η αρχή διατήρησης της ενέργειας στα δύο θεωρητικά πλαίσια. Μια ακραία περίπτωση διαφοράς είναι η αρχή διατήρησης του έργου ($W_1 = W_2$) στη Μηχανική η οποία εφαρμόζεται, κυρίως, σε προβλήματα στατικής και η αρχή διατήρησης της θερμότητας ($Q_1 = Q_2$) που μελετά αμιγώς θερμικά φαινόμενα. Όσο και να προσπαθήσει κανείς είναι δύσκολο να εντοπίσει, εκτός από το υπόβαθρο της διατήρησης, εννοιολογικές ομοιότητες ανάμεσα σε αυτές τις μορφές. Οι εμπλεκόμενες ενεργειακές έννοιες έργο και θερμότητα, εκτός από το διαφορετικό συστημικό, έχουν και εντελώς διαφορετικό εμπειρικό περιεχόμενο. Επίσης, το έργο και η θερμότητα μόνον εκ των υστέρων μπορούν να θεωρηθούν τυπικές ενεργειακές έννοιες, δηλαδή, μόνον αφού έχουν αναγνωρισθεί στο θεωρητικό πλαίσιο της Θερμοδυναμικής μέσα από την αρχή της ισοδυναμίας. Βεβαίως, θα μπορούσε να ισχυρισθεί κάποιος ότι οι γενικότερες μορφές αρχής διατήρησης είναι όμοιες στα δύο θεωρητικά πλαίσια ή, τουλάχιστον, η μια αποτελεί ειδική περίπτωση της άλλης. Αυτό θα μπορούσε να συμβαίνει, για παράδειγμα, με τη γενικότερη μορφή του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου

($\Delta E_K + \Delta E_\delta + \Delta U = Q + W$) η οποία, αν εφαρμοζόταν σε κάποιο μηχανικό φαινόμενο, θα κατάληγε απλώς στη γενική μορφή της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας ($\Delta E_K + \Delta E_\delta = W$). Αλλά, και στην περίπτωση αυτή, η έννοια του έργου, για παράδειγμα, διαφέρει από το ένα θεωρητικό πλαίσιο στο άλλο, όπως φαίνεται στη συνέχεια.

(γ) Το περιεχόμενο των ενεργειακών εννοιών δεν είναι το ίδιο στη Μηχανική και στη Θερμοδυναμική. Όπως είδαμε, οι έννοιες του πραγματικού έργου και του έργου κέντρου μάζας αποτελούν το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα. Στη Θερμοδυναμική, επίσης, τόσο για το έργο όσο και για την θερμότητα χρησιμοποιείται η έκφραση της μεταφοράς η οποία προσδίδει στις έννοιες διαφορετικό εμπειρικό περιεχόμενο από αυτό της Μηχανικής. Γενικότερα, οι έννοιες της μεταφοράς και της αποθήκευσης, που συνοδεύουν τις ενεργειακές έννοιες στα πλαίσια της Θερμοδυναμικής, προσδίδουν σε αυτές ένα εμπειρικό νόημα που φαίνεται να μην εμποδίζει την ανάπτυξη των επιστημονικών χαρακτηριστικών τους. Αυτό συμβαίνει, μάλλον, διότι τα εμπειρικά αυτά χαρακτηριστικά, επειδή διαμορφώθηκαν μέσα στο εννοιολογικό πλαίσιο της Θερμοδυναμικής και κατόπιν διαδόθηκαν στη καθημερινή ζωή, αποτελούν ένα αυτοσυνεπές σύστημα ιδεών σε αντίθεση με τα εμπειρικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων εννοιών της Μηχανικής που αντανakλούν όψεις της καθημερινής ζωής.

3. Προλεγόμενα ενός εποικοδομητικού αναλυτικού προγράμματος για τη διδασκαλία της ενέργειας.

Η ανάλυση που προηγήθηκε μας οδηγεί από επιστημολογική άποψη, στην ιδέα του προνομιακού χαρακτήρα της Θερμοδυναμικής για μία εισαγωγή στην έννοια της ενέργειας. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τη συγκρότηση ενός προγράμματος στο οποίο, με βάση την ανάλυση που πραγματοποιήσαμε, η ενέργεια εισάγεται στο πλαίσιο της Θερμοδυναμικής. Το πρόγραμμα αυτό αφορά τη βαθμίδα της Β' γυμνασίου. Όμως μία διδακτική προσέγγιση η οποία εντάσσεται στα σύγχρονα ρεύματα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, στον εποικοδομισμό, δεν θα μπορούσε να αγνοήσει τα σχετικά προβλήματα που συναντώνται στη σκέψη των μαθητών. Πράγματι υπάρχει μία μεγάλη σειρά ερευνών στις οποίες μελετώνται τόσο οι βιωματικές νοητικές παραστάσεις των μαθητών για την ενέργεια, όσο και τα αποτελέσματα εποικοδομητικών διδακτικών παρεμβάσεων οι οποίες έχουν ως στόχο την επίτευξη ουσιαστικής μάθησης της έννοιας της ενέργειας στα πλαίσια προγραμμάτων διδασκαλίας που δίδουν έμφαση στην εννοιολογική προσέγγιση του αντικειμένου διδασκαλίας (Κολιόπουλος, 1991). Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, ορισμένα από τα πορίσματα των ερευνών αυτών ελήφθησαν υπ' όψη στη συγκρότηση του περιεχομένου του προτεινόμενου αναλυτικού προγράμματος. Πρέπει, πάντως, να διευκρινίσουμε ότι στην εργασία αυτή έχουμε αποδεχθεί

την άποψη ερευνητών οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η ανίχνευση των νοητικών παραστάσεων των μαθητών και η ύπαρξη εποικοδομητικών μοντέλων μάθησης δεν οδηγούν κατ' ανάγκη σε εποικοδομητικά μοντέλα διδασκαλίας (όπως αυτά στα οποία προτείνεται μια ιεραρχικά δομημένη ακολουθία διδακτικών σταδίων που μπορεί να αντιστοιχεί σε μια ακολουθία μαθησιακών διαδικασιών), αλλά καταλήγουν μάλλον σε συγκεκριμένες προτάσεις για τη φύση, τη δομή και το εννοιολογικό περιεχόμενο που πρόκειται να διδαχθεί (Millar, 1989, Lijnse, 1990). Η άποψη αυτή, η οποία χειρίζεται την εποικοδομητική προσέγγιση ως "αναφορά" σε αντίθεση με τη πλέον διαδεδομένη άποψη σύμφωνα με την οποία ο εποικοδομισμός συνιστά μεθοδολογική προσέγγιση της διδασκαλίας, ταιριάζει ασφαλώς περισσότερο στα χαρακτηριστικά της δικής μας εργασίας που εστιάζει στο σχεδιασμό του εννοιολογικού περιεχομένου παρά στη μέθοδο προσέγγισης του αντικειμένου διδασκαλίας. Στην περίπτωση μας, τα εποικοδομητικά χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι ενσωματωμένα στο περιεχόμενό του, το οποίο θα μπορούσε να εφαρμοσθεί χωρίς σχεδιασμένες τροποποιήσεις στις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας.

4. Το περιεχόμενο του Αναλυτικού Προγράμματος

Το εννοιολογικό περιεχόμενο του προτεινόμενου αναλυτικού προγράμματος σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζονται η επιστημολογική του εγκυρότητα, δηλαδή, η συμμόρφωσή του προς επιστημολογικές αντιλήψεις στις οποίες αναφερθήκαμε, η κατ' αρχήν συμβατότητά του με τις βιωματικές νοητικές παραστάσεις των μαθητών για τη συγκεκριμένη έννοια και η εφικτότητά του, δηλαδή, η ικανότητα προσαρμογής του στις πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας (Κολιόπουλος, 1997). Οι παραπάνω περιορισμοί εκφράστηκαν στις γενικές επιδιώξεις και τους ειδικότερους διδακτικούς σκοπούς του προγράμματος. Οι βασικές επιδιώξεις του είναι οι εξής:

Πρώτον, να δοθεί έμφαση στην εννοιολογική πραγμάτευση των φυσικών φαινομένων. Η επιδίωξη αυτή εξασφαλίζει τη συνέχεια της παράδοσης του ελληνικού αναλυτικού προγράμματος στη βαθμίδα του γυμνασίου που έχει σαν συνέπεια την αύξηση του βαθμού εφικτότητας του προγράμματος.

Δεύτερον, να οικοδομήσουν οι μαθητές μια επιστημολογικά έγκυρη γνώση αναφοράς, στα πλαίσια της αντίληψης σύμφωνα με την οποία η δομή και το περιεχόμενο του προγράμματος θα σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε οι μαθητές να επιτύχουν ουσιαστική μάθηση της έννοιας της ενέργειας μέσα από σαφώς καθορισμένες επιδιωκόμενες εννοιολογικές αλλαγές. Η επιδίωξη αυτή αναδεικνύει τον εποικοδομητικό χαρακτήρα του αναλυτικού προγράμματος που, συγχρόνως, συνιστά μια επιστημολογική ασυνέχεια σε σχέση με το παραδοσιακό αναλυτικό πρόγραμμα στο οποίο επιδιώκεται η "μεταφορά" ενός εννοιολογικού περιεχομένου

χωρίς ρητά εκφρασμένους επιστημολογικούς και ψυχολογικούς προσδιορισμούς.

Οι προηγούμενες επιδιώξεις του προτεινόμενου αναλυτικού οδηγούν στη διατύπωση ειδικότερων διδακτικών σκοπών. Επιδιώκεται, λοιπόν, να εισαχθεί η έννοια της ενέργειας στα πλαίσια ενός διδακτικού μετασχηματισμού του εννοιολογικού πλαισίου της μακροσκοπικής Θερμοδυναμικής (που, συνήθως, αποκαλείται *μοντέλο ενεργειακής αλυσίδας* - Κολιόπουλος & Ψύλλος, 1992)), με κατάλληλο πεδίο εφαρμογής τα θερμικά και μηχανικά φαινόμενα. Η επιλογή του εννοιολογικού πλαισίου της μακροσκοπικής Θερμοδυναμικής δικαιολογείται όχι μόνον *επιστημολογικά*, όπως υποστηρίξαμε στο άρθρο αυτό, αφού εμφανίζεται ως ο προνομιακός χώρος πραγμάτευσης της έννοιας της ενέργειας, αλλά και *ψυχολογικά* αφού έχει υποστηριχθεί ότι σε αρκετούς μαθητές, πριν από τη διδασκαλία της ενέργειας, ενυπάρχουν νοητικές παραστάσεις (οι αποκαλούμενες *προ-ενεργειακές νοητικές παραστάσεις*) οι οποίες φαίνεται να είναι, κατ' αρχήν, συμβατές με ορισμένες πτυχές του συγκεκριμένου εννοιολογικού πλαισίου και ιδιαίτερα με το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας (Lemeignan & Weil-Barais, 1993, Tiberghien & Megalakaki, 1995). Πρόκειται για νοητικές παραστάσεις που βασίζονται στην ενεργοποίηση του γραμμικού αιτιακού συλλογισμού "πηγής - δράσης - αποδέκτη" που οι μαθητές χρησιμοποιούν συχνότατα, όταν προσπαθούν να περιγράψουν ή/και να εξηγήσουν τη λειτουργία διαφόρων φυσικών συστημάτων (Tiberghien, 1989, Psillos, 1995). Σύμφωνα με αυτό το είδος συλλογισμού, οι μαθητές αναγνωρίζουν αυθόρμητα ένα διαμεσολαβητή (που αποκαλούν δύναμη, ηλεκτρισμό, θερμότητα ή ενέργεια ανάλογα με τα φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος) ο οποίος δρα ή μεταφέρεται από ένα φυσικό αντικείμενο που αναγνωρίζεται ως πηγή της δράσης, σε ένα φυσικό αντικείμενο που αναγνωρίζεται ως αποδέκτης της δράσης. Αν και οι προ-ενεργειακές νοητικές παραστάσεις έχουν καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα, παρατηρούνται, κυρίως, σε διαφαινομενολογικές καταστάσεις όπου κυριαρχούν τα ηλεκτρικά και θερμικά φαινόμενα και σπάνια στα αυτοτελή μηχανικά φαινόμενα (Κολιόπουλος, 1997), υποστηρίζουμε ότι πρόκειται για τις καταλληλότερες νοητικές παραστάσεις που μπορούν να χρησιμεύσουν ως αρχικό πλαίσιο γνώσεων με βάση το οποίο θα επιχειρηθούν οι επιδιωκόμενες εννοιολογικές αλλαγές. Κατά συνέπεια, στη μελέτη μας, το πρόβλημα του σχεδιασμού του περιεχομένου αναλυτικού προγράμματος για τη μηχανική ενέργεια καθορίζεται ως πρόβλημα μετασχηματισμού των προ-ενεργειακών παραστάσεων των μαθητών σε παραστάσεις συμβατές με το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας.

Πιο συγκεκριμένα, λοιπόν, λαμβάνοντας υπ' όψη αφ' ενός τα κοινά στοιχεία και αφ' ετέρου την εννοιολογική απόσταση των προ-ενεργειακών νοητικών

παραστάσεων από το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας, επιδιώχθηκε, κατά τη φάση του σχεδιασμού του περιεχομένου του νέου αναλυτικού προγράμματος, να επιχειρηθούν τα εξής: (α) η ενεργοποίηση ή η άμεση οικοδόμηση προ-ενεργειακών αντιλήψεων ώστε ν' αποτελέσουν το αρχικό πλαίσιο γνώσεων των μαθητών για την ενέργεια, (β) η σταδιακή οικοδόμηση μιας ποσοτικής αντίληψης για την ενέργεια με τη βοήθεια της εισαγωγής ενός μοντέλου - "σπέρματος" (Tiberghien & Megalakaki, 1995), δηλαδή, μιας αρχικής μορφής του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας, ώστε οι ποιοτικές προ-ενεργειακές αντιλήψεις των μαθητών να μετασχηματισθούν σε περισσότερο συγγενείς με τη γνώση αναφοράς αντιλήψεις, (γ) η σύγχρονη διαφοροποίηση και ενοποίηση των ενεργειακών εννοιών ώστε η έννοια της ενέργειας να αποκτήσει μια αυτόνομη φυσιογνωμία κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της και (δ) η σταδιακή διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της έννοιας ώστε να παγιωθούν οι νέες ενεργειακές νοητικές παραστάσεις.

Με βάση το προηγούμενο αυτοσυνεπές σύνολο επιδιώξεων και διδακτικών σκοπών σχεδιάστηκε ένας "σκληρός πυρήνας" δηλαδή, οι βασικές εκείνες επιλογές που αφορούν στην εννοιολογική οργάνωση, φύση και πεδίο εφαρμογής του με βάση τις επιδιώξεις και τους διδακτικούς σκοπούς που διατυπώνονται γι' αυτό. Οι επιλογές αυτές δεν είναι δυνατόν να αμφισβητηθούν σε ενδεχόμενη εφαρμογή του προγράμματος στη διδασκαλία αλλά μόνον να εξειδικευθούν, συμπληρωθούν ή/και προσαρμοσθούν στα πλαίσια του συγκεκριμένου εκπαιδευτικού πλαισίου εντός του οποίου πρόκειται να εφαρμοστεί.

Πιο συγκεκριμένα:

(α) Η οργάνωση του περιεχομένου οδήγησε στη διαμόρφωση μιας ακολουθίας ευρέων εννοιολογικών εννοιών στα πλαίσια της οποίας η έννοια της ενέργειας εισάγεται κατά τη μελέτη των θερμικών φαινομένων στα οποία, εμφανίζονται ευκολότερα προ-ενεργειακές νοητικές παραστάσεις και επεκτείνεται, μέσω των αναλογικών ιδιοτήτων του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων και στα μηχανικά φαινόμενα. Η προτεινόμενη εννοιολογική οργάνωση αποτυπώνεται στον **πίνακα 1**. Μια άλλη πτυχή της οργάνωσης του περιεχομένου ήταν η διαμόρφωση μιας ακολουθίας "ποιοτικής - ποσοτικής" προσέγγισης όπου οι μετρήσεις και οι μαθηματικές τυποποιήσεις αναφέρονται πάντοτε στη δομή και στο ποιοτικό περιεχόμενο του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας. Τέλος, στα πλαίσια κάθε ευρείας έννοιας, διαμορφώθηκε μια κατάλληλη εσωτερική οργάνωση σύμφωνη με τη σειρά των διδακτικών σκοπών που διατυπώσαμε προηγουμένως. Η οργάνωση που περιγράψαμε διαφέρει από τις "φορμαλιστικές" προσεγγίσεις που συναντάμε, κυρίως, στα παραδοσιακά αναλυτικά προγράμματα (όπως το ισχύον ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα) στα οποία η εισαγωγή και η ουσιαστική πραγμάτευση της έννοιας της μηχανικής ενέργειας γίνεται μέσω της μαθηματικής οντότητας

A ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- 1 Θερμοκρασία - Θερμότητα - Ενέργεια
- 2 Μέτρηση της θερμοκρασίας
- 3 Μέτρηση της μεταβολής της θερμικής ενέργειας
- 4 Απώλειες ενέργειας
- 5 Πως μεταφέρεται η θερμότητα

B ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΡΓΟ

- 6 Μηχανικά αποτελέσματα της θερμικής ενέργειας

Γ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- 7 Τι μορφή ενέργειας αποκτά ένα σώμα όταν του δίνουμε έργο;
- 8 Μέτρηση του έργου
- 9 Μέτρηση της μεταβολής της κινητικής ενέργειας
- 10 Από τη κινητική στη δυναμική ενέργεια

Πίνακας 1: Θεματικές ενότητες του προτεινόμενου εποικοδομητικού αναλυτικού προγράμματος.

του μηχανικού έργου, ανεξάρτητα από το αν προηγείται η μελέτη των θερμικών ή των μηχανικών φαινομένων. Επίσης, διαφέρει από τις "φαινομενολογικές" προσεγγίσεις, όπου οι μαθητές καλούνται να οικοδομήσουν ενεργειακές αντιλήψεις μέσα από συστηματική παρατήρηση και αλληλεπίδραση με μονο- ή πολυ-φαινομενολογικές καταστάσεις.

(β) Το περιεχόμενο, όπως είπαμε, παρουσιάζεται με τη μορφή εννοιολογικού μοντέλου που αποκαλούμε μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας. Το μοντέλο αυτό λειτουργεί σε τρία επίπεδα: (1) Σε λεκτικό/ποιοτικό επίπεδο όπου ιδιαίτερη σημασία έχει η εικονική παράσταση του μοντέλου. Το ποιοτικό/λεκτικό επίπεδο μπορεί να λειτουργήσει ενισχυτικά στο μετασχηματισμό των ποιοτικών προ-ενεργειακών παραστάσεων των μαθητών σε ποσοτικές ενεργειακές παραστάσεις μέσω της διάκρισης που επιχειρείται ανάμεσα στην έννοια της αποθηκευμένης ενέργειας, δηλαδή της ενέργειας ως ιδιότητας ενός φυσικού συστήματος (π.χ., κινητική ή δυναμική ενέργεια) και της μεταφερόμενης ενέργειας (π.χ., έργο), η οποία αποκαθιστά τη σχέση πηγής-αποδέκτη κατά τη διάρκεια του φαινομένου. Στη διάκριση αυτή, σημαντικό ρόλο παίζει η εικονική παράσταση του μοντέλου, όπου οι μορφές αποθηκευόμενης ενέργειας αντιστοιχούν σε πλαίσια ενώ οι μορφές μεταφερόμε-

νης ενέργειας σε βέλη που συνδέουν τα πλαίσια. (2) Σε ποσοτικό επίπεδο, όπου με τη βοήθεια μετρήσεων και εγκαθίδρυσης σχέσεων έγκλεισμού ή αναλογικών σχέσεων οι μορφές αποθηκευόμενης ενέργειας αντιστοιχούν σε μεταβολές ποσοτήτων ενέργειας οι οποίες βρίσκονται σε απλή αριθμητική σχέση με τις ποσότητες μεταφερόμενης ενέργειας. Η σχέση αυτή καθορίζεται, βεβαίως, από μια ρητά εκφρασμένη ή υπονοούμενη αντίληψη για την αρχή διατήρησης της ενέργειας. (3) Στο επίπεδο των φυσικών μεγεθών όπου είναι δυνατόν να αποκατασταθούν σχέσεις ανάμεσα σε ποσότητες ενέργειας και σε άλλες φυσικές ποσότητες (π.χ., μεταξύ έργου, δύναμης και απόστασης) οι οποίες, όμως, αποκτούν νόημα στα πλαίσια του ποιοτικού/λεκτικού και ποσοτικού επιπέδου του μοντέλου.

(γ) Τέλος, το φαινομενολογικό πεδίο εφαρμογής εμφανίζεται όχι ως ανεξάρτητο στοιχείο που παίζει απλά το ρόλο του φαινομενολογικού υποβάθρου, αλλά ως στοιχείο οργανικά δεμένο με τα εννοιολογικά χαρακτηριστικά του μοντέλου. Έτσι, αναδεικνύονται κατηγορίες φυσικών φαινομένων που κρίνονται μη προνομιακές ως πεδία εφαρμογής του συγκεκριμένου εννοιολογικού περιεχομένου. Τέτοια φαινόμενα είναι, για παράδειγμα, φαινόμενα που περιγράφονται με

ενεργειακούς όρους κλειστού συστήματος όπως η κίνηση ενός απλού εκκρεμούς ή φαινόμενα που περιγράφονται κατά προτεραιότητα από άλλα ενεργειακά πλαίσια (π.χ., την αρχή των δυνατών έργων) όπως η λειτουργία του κεκλιμένου επιπέδου ως απλής μηχανής. Αντίθετα, κατηγορίες φαινομένων που κρίνονται ως προνομιακές για την εφαρμογή του προτεινόμενου εννοιολογικού μοντέλου είναι φαινόμενα που περιγράφονται κατά προτεραιότητα με μοντέλα ανοιχτού θερμοδυναμικού συστήματος, όπου οι μαθητές αναγνωρίζουν μια εμφανή πηγή ενέργειας και έναν εμφανή αποδέκτη ενέργειας, όπως η παραμόρφωση ελατηρίου από κάποιο αντικείμενο ή η λειτουργία ενός μοντέλου θερμικής μηχανής.

Οι προηγούμενες αρχές σχεδιασμού του περιεχομένου του νέου αναλυτικού προγράμματος για την ενέργεια εξειδικεύτηκαν σε ακολουθία διδακτικών ενότητων με βάση το κριτήριο της διατήρησης μιας συνέχειας με τις παραδόσεις και απαιτήσεις του ισχύοντος ελληνικού αναλυτικού προγράμματος ώστε να εξασφαλισθεί η εφικτότητά του. Στον **πίνακα 2** παραθέτουμε τη συγκεκριμένη μορφή που έλαβε η εννοιολογική οργάνωση που παρουσιάστηκε στον πίνακα

Επίλογος

Το αναλυτικό αυτό πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε και η αποτελεσματικότητά του αξιολογήθηκε θετικά μέσα από μία συστηματική ερευνητική διαδικασία (Κολιόπουλος & Ravanis, υπό έκδοση). Έτσι, έχουμε ήδη κάποιες πρώτες ενδείξεις για τη σημασία των συνεπειών της επιστημολογικής ανάλυσης που πραγματοποιήσαμε, η οποία, μαζί με τις έρευνες που σχετίζονται με

τα προβλήματα της σκέψης των μαθητών, μας οδήγησαν στην εισαγωγή της έννοιας της ενέργειας μέσω της Θερμοδυναμικής. Μία περισσότερο εκτεταμένη εφαρμογή και αξιολόγηση του προγράμματος, αλλά επίσης και ενδεχόμενες παρεμβάσεις στις διδακτικές στρατηγικές θα μπορούσαν να μας προσφέρουν ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Βιβλιογραφία

- Arons A.B. (1992). *Οδηγός διδασκαλίας της φυσικής*. Μπφρ. Α.Δ.Βαλαδάκης. Τροχαλία
- Astolfi J.P. & Develay M. (1989). *La didactique des sciences*. PUF
- Barrat J.P. & Guinier G. (1980). L' énergie potentielle: énergie interne ou énergie libre. *Bulletin de l' Union des Physiciens*, 627, 115-126
- Bory C. (1974). *La thermodynamique*. PUF
- Βοσνιάδου Σ. & Brewer W. (1992). Θεωρίες αναδιοργάνωσης της γνώσης στο *Κείμενα εξελικτικής Ψυχολογίας, Σκέψη (β' τόμος)*. Gutenberg
- Chevallard Y. (1985). *La transposition didactique*. La Pensée Sauvage
- Franco C. & Colinvaux de Dominguez D. (1992). Genetic Epistemology, History of Science and Science Education. *Science and Education*, 1, 3, 255-271
- Goldstein H. (1980). *Κλασική Μηχανική*. Μπφρ. Γ.Τζιβανίδη. Εκδ. Πουρνάρα
- Halbwachs F. (1975). La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l' élève. *Revue Française de Pédagogie*, 33, 19-29
- Hodson D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72, 1, 19-40
- Καριώτογλου Π. (1990). Προβλήματα διδασκαλίας και μάθησης της Μηχανικής των ρευστών στο γυμνάσιο. Διδακτορική διατριβή. ΑΠ Θεσ/νίκης
- Κολιόπουλος Δ. (1991). Στοιχεία για μια βιβλιογραφία σχετικά με τη διδασκαλία της ενέργειας στο γυμνάσιο. *Επιθεώρηση Φυσικής*, 20, 26-30
- Κολιόπουλος Δ. (1997). *Επιστημολογικές και διδακτικές διαστάσεις των διαδικασιών συγκρότησης αναλυτικού προγράμματος: Η περίπτωση του διδακτικού μετασχηματισμού και της μάθησης της έννοιας της ενέργειας*. Διδακτορική διατριβή. ΠΤΝ Παν/μίου Πατρών.
- Κολιόπουλος Δ. & Ψύλλος Δ. (1992). Οι ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της ενέργειας και η επίδρασή τους στο σχεδιασμό μιας εισαγωγικής διδασκαλίας στο γυμνάσιο. Στο Α. Δημητρίου και συνεργ. (eds.) *Ψυχολογικές έρευνες στην Ελλάδα. Ανάπτυξη, Μάθηση και Εκπαίδευση*. ΑΠ Θεσ/νίκης
- Koliopoulos D. & Ravanis K. (υπό έκδοση). Elaboration

- et évaluation du contenu conceptuel d'un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques
- Κουλαϊδής Β. & Κουζέλης Γ. (1990). Για την παραδειγματική συγκρότηση της Διδακτικής των φυσικών επιστημών: μια επιστημολογική προσέγγιση. *Νέα Παιδεία*, 53, 151-169
- Κουμαράς Π. (1989). Μελέτη της εποικοδομητικής προσέγγισης στην πειραματική διδασκαλία του ηλεκτρισμού. Διδακτορική διατριβή. ΑΠ Θεσ/νίκης
- Landau L. & Lifchitz E. (1971). *Θεωρητική Φυσική, Μηχανική*. Μτφρ. Π. Παπαγιαννακόπουλος. Εκδ. Κ.Θεοχαρίδης
- Lemeignan G. & Weil-Barais A. (1993). *Construire des concepts en Physique*. Hachette (Ελληνική έκδοση, 1997, Τυπωθήτω)
- Lijnse P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of Physics. *Science Education*, 74, 5, 571-583
- Martinand J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Peter Lang
- Matthews M. (1992). History, Philosophy and Science teaching: The present rapprochement. *Science and Education*, 1, 11-47
- Millar R. (1989). Constructivism criticisms. *International Journal of Science Education*, 11, 587-596
- Nersessian N. (1994). Έννοιολογική δόμηση και διδασκαλία: Ένας ρόλος για την ιστορία στη Διδακτική των φυσικών επιστημών Στο Β.Κουλαϊδή (επιμ.) *Αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου. Γνωστική, Επιστημολογική και Διδακτική προσέγγιση*. Εκδόσεις Gutenberg
- Piaget J. (1974). *Introduction à l'épistémologie génétique. La pensée physique*. Presses Universitaires de France
- Piaget J. & Garcia R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Flammarion
- Posner G.J., Strike K.A., Hewson P.W. & Gertzog W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 2, 211-227
- Prigogine I. & Stengers I (1979). *La nouvelle alliance. Métamorphose de la science*. Gallimard
- Psillos D. (1995). Adapting science teaching to student's reasoning: In Psillos D. (ed.) *Proceedings of the 2nd PhD Summerschool "European Research in Science Education"*. Leptokaria, Greece
- Tiberghien A. (1989). Transposition didactique: Cas de la Physique. In *La transposition didactique en Mathématique, en Physique, en Biologie*. IREM & LIRDIS de Lyon, Université Claude Bernard
- Tiberghien A. & Megalakaki O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, v. X, 4, 369-383

α/α	Ενότητα	Βασικό θέμα - πρόβλημα	Φυσικά φαινόμενα	Γνωστικοί διδακτικοί σκοποί
1	Θερμοκρασία - Θερμότητα - Ενέργεια	Εξήγηση της θέρμανσης μιας ποσότητας νερού	Θέρμανση μιας ποσότητας νερού με τη βοήθεια ενός camping - gaz	- Ενεργοποίηση προ-ενεργειακών αντιλήψεων - Εισαγωγή του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας - Διαφοροποίηση των εννοιών θερμοκρασία, θερμότητα και ενέργεια στο λεκτικό /ποιοτικό επίπεδο
2	Μέτρηση της θερμοκρασίας	Θερμομέτρηση	Θέρμανση/ψύξη μιας ποσότητας νερού με τη βοήθεια ενός camping-gaz	- Εφαρμογή του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας - Εισαγωγή της έννοιας της θερμικής ισορροπίας
3	Μέτρηση της μεταβολής της θερμικής ενέργειας	Πώς μετράμε την αύξηση της θερμικής ενέργειας ενός υγρού;	Θέρμανση μιας ποσότητας νερού με τη βοήθεια ενός camping-gaz	- Διαφοροποίηση των εννοιών θερμοκρασίας και (θερμικής) ενέργειας στο εννοιολογικό επίπεδο - Ενδυνάμωση της ποσοτικής φύσης της ενέργειας με τη χρήση του αλγόριθμου $E=mc\Delta\theta$
4	Απώλειες ενέργειας	Η θερμότητα που παρέχει το camping-gaz είναι πάντοτε ίση με τη θερμική ενέργεια που αποθηκεύεται στο νερό;	Θέρμανση μιας ποσότητας νερού με τη βοήθεια ενός camping-gaz	- Διαφοροποίηση των εννοιών (θερμικής) ενέργειας και θερμότητας στο ποσοτικό επίπεδο
5	Πως μεταφέρεται η θερμότητα;	Πως αντιμετωπίζουμε τις απώλειες ενέργειας;	- Θέρμανση/ψύξη μιας ποσότητας νερού σε δοχεία από διαφορετικό υλικό - Φαινόμενα μεταφοράς με ρευστά	- Εφαρμογή του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας - Εμπλουτισμός της έννοιας της θερμότητας με το στοιχείο του μηχανισμού μεταφοράς
6	Μηχανικά αποτελέσματα της θερμικής ενέργειας	Περιγραφή και εξήγηση των μηχανικών αποτελεσμάτων της θέρμανσης	- Εκτόξευση ενός πάγιατος δοκιμαστικού σωλήνα που περιέχει νερό το οποίο θερμαίνεται - Λειτουργία ενός μοντέλου ατμομηχανής	- Εισαγωγή της έννοιας του έργου, κατ' αναλογία με αυτή της θερμότητας, ως μεταφορά ενέργειας με βραχεία διαφορά το μηχανισμό μεταφοράς - Εισαγωγή της έννοιας της κινητικής ενέργειας ως μορφής αποθηκευμένης ενέργειας
7	Τι μορφή ενέργειας αποκτά ένα σώμα όταν του δίνουμε έργο;	Τι μορφή ενέργειας αποκτά ένα σώμα όταν του δίνουμε έργο;	Κίνηση ενός αμαξιδίου που σέρνει ένας άνθρωπος	- Διαφοροποίηση της έννοιας του έργου από διάφορες μορφές αποθηκευμένης ενέργειας στο λεκτικό /ποιοτικό επίπεδο
8	Μέτρηση του έργου	Πώς μετράμε το έργο;	- Κίνηση ενός αμαξιδίου που σέρνει ένας άνθρωπος - Λειτουργία αετών μηχανών (μοχλού και τροχαλίας)	- Ενδυνάμωση της ποσοτικής φύσης της ενέργειας με τη χρήση του αλγόριθμου $W=F\cdot s$ - Διαφοροποίηση των εννοιών δύναμης και έργου στο λεκτικό/ποιοτικό επίπεδο και στο επίπεδο φρα. μεγεθών
9	Μέτρηση της μεταβολής της κινητικής ενέργειας	Πόση είναι η κινητική ενέργεια που αποκτούν τα σώματα;	Κίνηση ενός αμαξιδίου που σέρνει ένας άνθρωπος	- Εγκαθίδρυση μιας ατλουστευμένης μορφής του θεωρητικού έργου - ενέργειας
10	Από τη κινητική στη δυναμική ενέργεια	Έχουν τα σώματα ενέργεια όταν δεν κινούνται;	Εκτόξευση βέλους από τεταμένο τόξο	- Εισαγωγή στη μετατροπή κινητικής σε δυναμική ενέργεια και αντίστροφα

Πίνακας 2 Λεπτομερής ακολουθία διδακτικών ενοτήτων που βασίζεται στο σκηνικό πυρήνα του προτεινόμενου εννοιολογικού περιεχομένου