

Στοιχεία για μια βιβλιογραφία σχετικά με τη διδασκαλία της ενέργειας στο Γυμνάσιο (*)

Δ. Κολιόπουλος

Ελληνογαλλική Σχολή Αγίας Παρασκευής

*Η εργασία αυτή είναι μια τροποποιημένη και πλέον ενημερωμένη μορφή παλαιότερης δημοσίευσης στο περιοδικό ASTER (τεύχος 2, 1986) που εκδίδει το Γαλλικό Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (INRP).

1. Εισαγωγή

Εδώ και είκοσι περίπου χρόνια, οι εκπαιδευτικοί κύκλοι των μεγάλων βιομηχανικών χωρών εκδηλώνουν ζωηρό ενδιαφέρον για ότι αφορά την μετάδοση των γνώσεων στον τομέα της ενέργειας. Πίσω από αυτή την κινητοποίηση βρίσκεται η ενεργειακή κρίση. Διάφοροι παράγοντες της εκπαιδευτικής κοινότητας, οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων και την σύλληψη και οργάνωση των εκπαιδευτικών προγραμμάτων, οι εκπαιδευτικοί και οι ερευνητές πάνω σε θέματα Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών έχουν συμβάλλει σε πολυάριθμες καινοτομίες και έρευνες που αναπτύχθηκαν γύρω από αυτό το γενικό θέμα.

Σε διεθνές επίπεδο, δύο εκδόσεις της ΟΥΝΕΣΚΟ (1983, 1987) μας ενημερώνουν για τις τάσεις που επικρατούν στα εκπαιδευτικά συστήματα των διαφόρων κρατών του κόσμου σχετικά με τη διδασκαλία της ενέργειας. Υπάρχουν επίσης συνθετικές εργασίες που συγκεντώνουν ανά κατηγορίες ένα μεγάλο αριθμό προγραμμάτων (Duit 1985, Driver and Millar 1986). Τέλος, έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια διάφορες ανακοινώσεις που αφορούσαν ειδικά το πρόβλημα της διδασκαλίας της ενέργειας από τη σκοπιά της καινοτομίας και της έρευνας (Balaton 1983, Leeds 1985).

Η δική μας εργασία φιλοδοξεί να είναι μια πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία μιας βιβλιογραφίας που να αφορά τόσο στη διδασκαλία όσο και στην έρευνα στον τομέα της διδακτικής. Θα περιοριστούμε στο χώρο του Γυμνασίου όπου, συνήθως, η διδασκαλία της ενέργειας έχει εισαγωγικό χαρακτήρα.

2. Ανάλυση του περιεχομένου διδασκαλίας

Η ιστορία των επιστημών και η επιστημολογία μπορούν να αποτελέσουν προνομιακά μέσα για μια *a priori* ανάλυση του περιεχομένου διδασκαλίας στον τομέα της ενέργειας.

Οι μελέτες των ιστορικών των επιστημών συμβάλλουν συχνά στη κατανόηση των μηχανισμών εμφάνισης νέων εννοιών. Αυτό το ρόλο έπαιξαν, για παράδειγμα, οι μελέτες του Kuhn (1959) και του Merleau Ponti (1979). Σύμφωνα με τον Kuhn, τρεις είναι οι παράγοντες που επηρέασαν ιδιαίτερα την ανακάλυψη της αρχής της διατήρησης της ενέργειας από διαφορετικούς επιστήμονες στο ίδιο χρονικό διάστημα: α) η διαθεσιμότητα διαδικασιών μετατροπής της ενέργειας, β) το ενδιαφέρον για τις μηχανές και γ) η φιλοσοφία της φύσης. Για τον J. Merleau Ponti, η ανακάλυψη της αρχής της διατήρησης της ενέργειας από τον Joule δεν είναι το αποτέλεσμα καθαρά επαγγειακών συλλογισμών αλλά είναι «σαν η αρχή της ισοδυναμίας να υπήρχε ήδη με τη μορφή μεθοδολογικού αξιώματος πριν ακόμη εκφραστεί σαν νόμος της φυσικής».

Ο φιλόσοφος Cassirer (1977) παρουσιάζει μια σειρά από επιχειρήματα για να δείξει ότι το εννοιολογικό περιεχόμενο της ενέργειας αποκτά νόημα μέσα από μαθηματικές σχέσεις. Ο Lindsay (1975) παρακολουθεί την εξέλιξη της έννοιας μέσα από μια σειρά πρωτότυπων κειμένων διαφόρων σοφών από τον Αριστοτέλη μέχρι τον Lagrange και τον D'Alembert. Η βασική υπόθεση που κάνει είναι ότι η έννοια της μη μεταβλητότητας ή της σταθερότητας μέσα στις διάφορες αλλαγές αποτελεί τον πυρήνα αυτής της έννοιας. Τέλος ο Halbwachs (1980, 1981) με τις εργασίες του πάνω στην ιστορία της μηχανικής ενέργειας και της θερμότητας συμβάλλει με τρόπο ώστε δύο διαφορετικές επιστήμες, η ιστορία και η γνωστική ψυχολογία να φωτίσουν η μία την άλλη.

Ένας άλλος τρόπος ανάλυσης συνίσταται στην κριτική των σχολικών εγχειρίδιων της εκπαίδευση σήμερα.

Ο Bruneaux (1983) εργάστηκε κυρίως πάνω στα εγχειρίδια τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Παρατηρεί την έλλειψη ομογενούς ορολογίας στη θερμοδυναμική, δηλαδή ότι το εννοιολογικό πλέγμα σ' αυτόν τον κλάδο της φυσικής διατηρεί όρους που προέρχονται από διαφορετικά στάδια της εξέλιξής του και ισχυρίζεται ότι αυτό μπορεί να προκαλέσει σύγχυση κατά τη μάθηση. Προτείνει, τέλος, μια αναθεώρηση της ορολογίας της θερμοδυναμικής σ' όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης. Τονίζει τη διάκριση ανάμεσα στις καταστατικές συναρτήσεις (εσωτερική ενέργεια) και τα μεγέθη μεταφοράς (έργο, θερμότητα) κάνοντας εμφα-

νή την αντίθεσή του ως προς την αντίληψη που θεωρεί τη θερμότητα σαν ένα εκτακτικό και αποθηκευμένο μέγεθος.

Ο Zemanski (1969) υπογραμμίζει επίσης μια σειρά από συγχύσεις που υφίστανται τόσο μεταξύ των εκπαιδευτικών όσο και των μαθητών καθώς και στα σχολικά εγχειρίδια. Διακρίνει και σχολιάζει λάθη που συναντάμε συχνά και ιδιαίτερα τα εξής: α) την αναφορά στη «θερμότητα μέσα σ' ένα σώμα», β) το συνδυασμό θερμότητας και ενέργειας μέσα στον ίδιο όρο θερμική ενέργεια ο οποίος δεν έχει ορισθεί με τρόπο ικανοποιητικό.

Τέλος, σε μια πιο πρόσφατη εργασία (Koliopoulos et al. 1991a) η ενέργεια χαρακτηρίζεται σαν μια μή ομογενής έννοια. Διαπιστώνεται ότι διαμορφώθηκαν διαφορετικά επιστημονικά πρότυπα, συνδεδεμένα με αντίστοιχα φαινομενολογικά πεδία όπου μέσα στο κάθε ένα από αυτά η ενέργεια αποκτά «νοηματική αυτονομία». Διακρίνονται το πρότυπο της Δυναμικής υλικού σημείου, το πρότυπο της Θερμοδυναμικής και το πρότυπο του Ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Τα πρότυπα αυτά είναι προϊόντα της ιστορικής εξέλιξης της ενέργειας από μια παράγωγη έννοια της Δυναμικής του 17ου αιώνα (*vis-viva*) σε μια βασική και αυτόνομη έννοια της επιστήμης του 19ου αιώνα (Theobald 1965).

3. Έρευνα πάνω στις αντιλήψεις των μαθητών και την εξέλιξή τους

Υπάρχει μια συνθετική εργασία που περιλαμβάνει τις έρευνες πάνω στις αντιλήψεις των μαθητών σε σχέση με διάφορες φυσικές καταστάσεις που τους προτείνονται μέσα από γραπτές ερωτήσεις κυρίως ή από ατομικές συνεντεύξεις (Brook 1986). Αυτή η εργασία παρουσιάζει αρκετές έρευνες πάνω στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές κατανοούν τις ενεργειακές πλευρές των φυσικών καταστάσεων. Πέντε εναλλακτικές αντιλήψεις που διαφέρουν από το επιστημονικό πρότυπο έρχονται στο φως: α) η ενέργεια συνδυάζεται κυρίως με ζωντανά υποκείμενα, β) η ενέργεια θεωρείται συνώνυμη της δύναμης, γ) η ενέργεια συνδυάζεται μόνο με την κίνηση, δ) η ενέργεια είναι αποθηκευμένη μέσα στα αντικείμενα και ε) η ενέργεια θεωρείται καύσιμο.

Μπορούμε να κατατάξουμε αυτές τις έρευνες με βάση τη φύση των ερωτήσεων που τέθηκαν στους μαθητές, και που απευθύνονται σε διαφορετικά επίπεδα γνώσεων (ηλικία μαθητών από 11 έως 16 ετών). Διαπιστώνουμε, λοιπόν, ότι υπάρχουν:

— γενικές ερωτήσεις που αφορούν ένα πλήθος από καταστάσεις της καθημερινής ζωής και έχουν σα στόχο να διαπιστωθεί πώς χρησιμοποιούν οι μαθητές την έννοια της ενέργειας (Watts 1983a, Bliss and Ogborn 1985). Και οι δύο έρευνες φανερώνουν την ύπαρξη μιας σειράς από αντιλήψεις που αντιστοιχούν στις κατηγορίες που αναφέραμε προηγουμένως. Επί πλέον: η κατηγορία δ) γίνεται πιο ακριβής: η ενέργεια είναι κάτι που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας μέσα στα αντικείμενα και που απαιτεί μια «ώθηση» για να ελευθερωθεί και εμφανίζεται, επίσης, μια

νέα κατηγορία: η ενέργεια συνδυάζεται κυρίως με μηχανισμούς που κάνουν τη ζωή μας πιο άνετη

— ερωτήσεις που αφορούν καταστάσεις πραγματικές ή ιδανικές παρόμοιες με εκείνες που συναντάμε κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, όπου οι ζητούμενες γνώσεις αντιστοιχούν, λίγο ή πολύ, σε εκείνες που χρησιμοποιεί το επιστημονικό πρότυπο (Agabre 1984, Brook and Driver 1984, Driver and Warrington 1985). Το περισσότερο ενδιαφέρον από τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών είναι ότι μικρός αριθμός μαθητών περιγράφει και ερμηνεύει τις φυσικές καταστάσεις, κυρίως εκείνες που έχουν σχέση με την μηχανική, με όρους όπως ένέργεια ή διατήρηση της ενέργειας, αν δεν τους το ζητήσουν με επιμονή. Επί πλέον, ορισμένες έρευνες που έγιναν μέσα στις τάξεις (Solomon 1985a) δείχνουν ότι οι ερμηνείες των μαθητών πλησιάζουν περισσότερο στην ιδέα της υποβάθμισης της ενέργειας παρά στην ιδέα της διατήρησης της ενέργειας

— ερωτήσεις που εγγράφονται μέσα σ' ένα διεπιστημονικό πλαίσιο. Ορισμένες από υπέρ τις ερωτήσεις απαιτούν γνώσεις που ανήκουν σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Άλλες έχουν σα στόχο να κάνουν γνωστές τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την κοινωνική χρήση της έννοιας της ενέργειας (Audigier 1985, Solomon 1985b). Αυτές οι μελέτες φέρνουν στο φως την τάση των νεώτερων από τους μαθητές να συνδέουν την λέξη ενέργεια με οικιακές και άλλες καθημερινές δραστηριότητες (άθληση, τροφή) και όχι με γενικότερα προβλήματα (παραγωγή ενέργειας από μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού, εξάντληση ενεργειακών πόρων του πλανήτη). Αυτά τα αποτελέσματα θέτουν, μεταξύ άλλων, και το πρόβλημα του τρόπου εκμετάλλευσης από διδακτικής πλευράς κειμένων που παρουσιάζουν κοινωνικό ενδιαφέρον.

Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι ανάλογες έρευνες που αφορούν τόσο στις απόψεις των μαθητών όσο και στη διδασκαλία πραγματοποιήθηκαν σε ειδικούς τομείς της φυσικής (μηχανική, θερμοδυναμική, ηλεκτρισμός). Στον τομέα της μηχανικής, συναντάμε και πάλι τη μη διαφοροποίηση ανάμεσα στις έννοιες δύναμη και ενέργεια. Επίσης, η ενέργεια θεωρείται συγχρόνως σαν το αποτέλεσμα των δυνάμεων που αισκούνται πάνω στα αντικείμενα και σαν παραγωγός δυνάμεων (Watts 1980, 1983b). Στον τομέα της θερμοδυναμικής, δεν έχουμε στη διάθεσή μας πολλές πληροφορίες σχετικά με τη διαφοροποίηση από την πλευρά των μαθητών ανάμεσα στις έννοιες θερμοκρασία, θερμότητα και ενέργεια στις περιπτώσεις περιγραφής της κατάστασης ενός συστήματος ή της αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφόρων συστημάτων (Tiberghien 1985). Αντίθετα, στον τομέα του ηλεκτρισμού (Ludwigsburg 1985, Koumaras και συν. 1990), πολλές εργασίες μαρτυρούν ότι οι μαθητές έχουν μια «ενεργειακή» αντιλήψη όταν πρόκειται να μελετήσουν το ηλεκτρικό κύκλωμα ενώ συγχρόνως χρησιμοποιούν και όρους όπως ηλεκτρικό ρεύμα και κυκλοφορία ηλεκτρονίων.

Σε πιο πρόσφατες εργασίες, που εντάσσονται στα πλαίσια της διερεύνησης των αντιλήψεων των μαθητών πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διδασκαλία ενός καινοτομικού προγράμματος για την ενέργεια (Κολιόπουλος και

Ψύλλος 1989, Koliopoulos et al. 1989) διαπιστώνεται ότι οι μαθητές εμφανίζουν ενέργειακές απόψεις επιλεκτικά ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των φυσικών καταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, φυσικές καταστάσεις που αναφέρονται στα ηλεκτρικά και θερμικά φαινόμενα θεωρούνται προνομιακό πεδίο έκφρασης ενέργειακών αντιλήψεων. Στις ίδιες εργασίες επιχειρείται μια βαθύτερη ανάλυση που δείχνει ότι οι ενέργειακές αντιλήψεις εντάσσονται σε συλλογισμούς που βασίζονται σε γραμμικές αιτιώδεις σχέσεις.

4. Μερικά προγράμματα διδασκαλίας

Ορισμένα προγράμματα διδασκαλίας εφαρμόζουν μια διεπιστημονική προσέγγιση. Κατ' αυτόν τον τρόπο το PE-EEC στις Ηνωμένες Πολιτείες (Fowler 1983) προτείνει διδακτικές ενότητες που περιλαμβάνουν τις θετικές επιστήμες, τα μαθηματικά και τις κοινωνικές επιστήμες. Στη Γαλλία, ορισμένες έρευνες στο πλαίσιο του INRP (Audigier 1985) έχουν επιχειρήσει μια προσέγγιση της επιστημονικής και οικονομικής πλευράς της ενέργειας. Και στις δύο περιπτώσεις το επιστημονικό υλικό που προέκυψε είναι σημαντικό.

Για τα προγράμματα που έχουν σχέση κυρίως με τη φυσική, μπορούμε να διακρίνουμε από τη σκοπιά της εννοιολογικής προσέγγισης:

— τα προγράμματα που εισάγουν την έννοια της ενέργειας παίρνοντας σαν αφετηρία άλλα φυσικά μεγέθη που είναι ήδη γνωστά. Σ' αυτή τη κατηγορία ανήκει η κλασική προσέγγιση η οποία εισάγει την ενέργεια ξεκινώντας από το μηχανικό έργο καθώς επίσης και μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση που επιχειρείται σ' ένα ουγγρικό πρόγραμμα (Kedves et al. 1983) η οποία έχει σαν αφετηρία τη θερμότητα. Με το πρότυπο «έργο - ενέργεια» προσεγγίζεται η έννοια και στην Ελλάδα (Ζενάκος και συν. 1982). Συγχρόνως, γίνονται ενδιαφέρουσε προτάσεις ώστε να αναβαθμιστεί η θέση της στο αναλυτικό πρόγραμμα (Ρέντζος 1986).

— τα προγράμματα που εισάγουν την ενέργεια όχι σαν παράγωγη αλλά σαν πρωταρχική έννοια. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκει το ισραηλινό πρόγραμμα «Ενέργεια και μετατροπές της» (Shadmi 1985) το οποίο εισάγει την ενέργεια παίρνοντας σαν αφετηρία τους τρόπους μεταφοράς, μετατροπής και διατήρησής της. Πολλά πειράματα έχουν σα στόχο αφ' ενός να ωθήσουν τους μαθητές σε μια περιγραφή των φυσικών καταστάσεων με όρους μεταφοράς - μετατροπής των διαφόρων μορφών ενέργειας και αφ' ετέρου να τους κάνουν ν' αποδεχτούν την υπόθεση ότι η ενέργεια διατηρείται. Στην αρχή αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται στον τομέα της μηχανικής και αργότερα επεκτείνεται και σε άλλους τομείς. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η μέτρηση της ποσότητας ενέργειας γίνεται έμεσα και με βάση τις σχέσεις που υφίστανται ανάμεσα στην ενέργεια και άλλα σχετικά μεγέθη.

Η διδακτική ενότητα «Ενέργεια» του Intergrated Nuffield (1979) παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία πειραμάτων τα οποία

χρησιμοποιούν διάφορες μορφές μεταφοράς ενέργειας. Αυτό το πρόγραμμα παρουσιάζει την ποσοτική πλευρά της ενέργειας παίρνοντας σαν αφετηρία αποκλειστικά το έργο το οποίο υπολογίζεται σαν το γινόμενο δύναμη επιμεταποίηση.

Στη Γαλλία το βιβλίο της Γ' Γυμνασίου της σειράς Libre parcours απαιτεί μια ανάλογη αφαιρετική διαδικασία: «η έννοια της ενέργειας παρουσιάζεται σαν το κοινό στοιχείο που κρύβεται πίσω από την διαφορετικότητα διαφόρων φυσικών φαινομένων που οδηγούν στο ίδιο λειτουργικό αποτέλεσμα» (Lemeignan et Agabra 1980). Επίσης, η μέτρηση της ενέργειας γίνεται άμεσα (χρησιμοποίηση του ηλεκτρικού μετρητή) και ακολουθεί ο συσχετισμός της με άλλα φυσικά μεγέθη. Χάρη σε πολυάριθμα πειράματα και έρευνες με βάση κείμενα, οι μαθητές προσεγγίζουν ενέργειακά φυσικές καταστάσεις της καθημερινής ζωής.

Στο πρόγραμμα του Ινστιτούτου της Καρλσρούης, η ενέργεια εισάγεται επίσης σαν πρωταρχική έννοια. Θεωρείται κυρίως σαν κάτι που ρέει ενώ συγχρόνως ρέουν και μεγέθη - φορείς της ενέργειας (Falk et al. 1983, Schmid 1982). Το είδος του φορέα, που συνδέται με ένα εκτατικό μέγεθος (ηλεκτρικό φορτίο, μάζα, στροφορμή), προσδιορίζει και τη μορφή μεταφοράς. Οι φορείς αυτοί δεν είναι απαραίτητα ορατοί.

Συγχρόνως με την ανάπτυξη τέτοιων προγραμμάτων αρχίζει και ένας διάλογος μεταξύ εκπαιδευτικών, φυσικών και ειδικών σε θέματα διδακτικής σχετικά με τη φύση της έννοιας και την εισαγωγή της στην εκπαίδευση. Με βάση μια επιστημολογική ανάλυση του περιεχομένου ο Warren (1982) ισχυρίζεται ότι η έννοια της ενέργειας καθώς και εκείνη του έργου είναι ιδιαίτερα αφηρημένες έννοιες οι οποίες δεν πρέπει να εισάγονται στη στοιχειώδη και μέση εκπαίδευση. Σύμφωνα με μια παρόμοια εργασία ο Sexl (1981) προετείνει η μελέτη της μεταφοράς της ενέργειας από ένα σύστημα σε ένα άλλο να γίνεται αφού προηγηθεί η εισαγωγή της έννοιας της διατήρησής της μέσα από παραδείγματα με κλειστά συστήματα. Το περιοδικό Physics Education (τόμος 17 1982, τόμος 18 1983) υπήρξε πρόσφορο πεδίο ανταλλαγής διαφόρων απόψεων. Τέλος, ο Lehrman (1973) υποστηρίζει ότι ο ορισμός της ενέργειας σαν ικανότητα παραγωγής έργου είναι λανθασμένος ενώ ένας σύγχρονος ορισμός της έννοιας πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη την πρώτη και δεύτερη αρχή της θερμοδυναμικής.

Μερικές πιο πρόσφατες εργασίες λαμβάνουν υπ' όψη τους με πιο σαφή τρόπο ορισμένες από τις δυσκολίες που συναντούν οι μαθητές. Ένας αριθμός εργασιών που αφορούν στον τομέα του ηλεκτρισμού έχουν σα στόχο τη διάκριση ανάμεσα στα μεγέθη ενέργεια και ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος (Psillios et al. 1988, Rhoneck 1984). Ο Guidoni (1986) διερωτάται σχετικά με μια προσέγγιση της στοιχειώδους μηχανικής μέσα από μια βαθμιαία διαφοροποίηση των εννοιών της δύναμης και της ενέργειας. Προβάλλει την άποψη ότι είναι απαραίτητο να στηριχθούμε σε κάποιες πρωταρχικές ομάδες ιδεών ή εμπειριών των μαθητών. Ο Trumper (1990, 1991), επίσης, ανακοινώνει τα ικανοποιητικά αποτέλεσματα μιας διδασκαλίας που ανέπτυξε αξιοποιώντας διδακτικές τις εναλλακτικές αντιλήψεις

των μαθητών για την ενέργεια.

Μετά από πολλούς διδακτικούς πειραματισμούς, η Solomon (1985a) εισάγει την έννοια της υποβάθμισης της ενέργειας πριν από την έννοια της διατήρησης. Δύο είναι τα επιχειρήματα που προβάλλει: αφ' ενός η υποβάθμιση της ενέργειας είναι πιο προστή σαν έννοια για τους μαθητές και αφ' ετέρου η σειρά παρουσίασης των εννοιών αποτρέπει από λανθασμένες ερμηνείες της έννοιας της διατήρησης της ενέργειας. Ο Duit (1986) επεξεργάζεται ένα περιεχόμενο διδασκαλίας όπου υποβάθμιση και διατήρηση διδάσκονται παράλληλα. Προτείνει, όταν πρόκειται για ενεργειακές αλυσίδες, να δίνεται περισσότερη έμφαση στην «απώλεια της χρήσιμης ενέργειας» παρά στην ισότητα των ποσοτήτων ενέργειας κατά την είσοδο και την έξοδο σ' ένα σύστημα. Η Viglietta (1990) επίσης προτείνει ένα πρόγραμμα διδασκαλίας βασισμένο στις έννοιες της «διαθεσιμότητας» της ενέργειας και της απόδοσης.

Στην Ελλάδα, τέλος, βρίσκεται υπό εξέλιξη η ανάπτυξη ενός καινοτομικού προγράμματος διδασκαλίας της ενέργειας στο εισαγωγικό επίπεδο (Κολιόπουλος 1989). Στο πρόγραμμα αυτό γίνεται η ποιοτική και ποσοτική διαπραγμάτευση των εννοιών της ενέργειας και ισχύος με βάση το πρότυπο των ενεργειακών αλυσίδων. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή (Tiberghien et al. 1989) στην ενέργεια αποδίδονται οι ιδιότητες α) της αποθήκευσης μέσα σε αποθήκες ενέργειας, β) της μεταφοράς της κάτω από διαφορετικές μορφές (ηλεκτρισμός, κίνηση, θερμότητα, φως) και γ) της μετατροπής της από μια μορφή μεταφοράς σε άλλη. Η μετατροπή αυτή συμβαίνει στους μετατροπείς ενέργειας. Τα αντικείμενα και οι ιδιότητες αναπαριστώνται με σύμβολα που συνιστούν τις ενεργειακές αλυσίδες. Στο πρόγραμμα αυτό, οι ενεργειακές αλυσίδες χρησιμοποιούνται επίσης ως ενδυμέσο διδακτικό εργαλείο για να συγκεράσουν τις ποιοτικές διαισθητικές αντιλήψεις των μαθητών με τις ποσοτικές σχέσεις του επιστημονικού προτύπου διδασκαλίας (Koliopoulos et al. 1991b).

5. Συμπεράσματα

Οι εργασίες στον τομέα της ενέργειας, αν και μεταγενέστερες από εκείνες που επιχειρήθηκαν σε άλλους τομείς της φυσικής, ξεκίνησαν με την ανάπτυξη πολλών καινοτομικών προγραμμάτων διδασκαλίας. Αντίθετα με τους άλλους τομείς όπου οι καινοτομίες έγιναν με πρωτοβουλία των φυσικών, στο χώρο της ενέργειας πρωτεύοντα ρόλο έπαιξε μια επίμονη κοινωνική ζήτηση συνδεδεμένη με την ενεργειακή κρίση.

Λόγω της ενοποιητικής - διαφαινομενολογικής φύσης της έννοιας της ενέργειας, οι έρευνες στη διδακτική, σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι σε άλλες έννοιες, οδήγησαν αφ' ενός σε προβληματισμούς πάνω στο επιστημονικό περιεχόμενο της έννοιας και αφ' ετέρου στο να προτιμήθει μια διεπιστημονική προσέγγιση.

Οι πρόσφατες έρευνες που αφορούν στην επεξεργασία περιεχομένων διδασκαλίας λαμβάνουν υπ' όψη τους αυτούς τους προβληματισμούς καθώς και τα αποτελέσματα των ερευνών σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών.

Τέλος, η κοινωνική και οικονομική σπουδαιότητα της ενέργειας κάνει να αναφύεται το πρόβλημα της επιλογής των πρακτικών αναφοράς και του πεδίου εφαρμογών της έννοιας.

Αναφορές

- J. Agabra (1984), “Vocabulaire et représentations”, Aster 21, INRP.
- F. Audigier (1985), “L'enseignement de l'énergie”, Collection Rapports de recherche 7, INRP.
- J. Bliss and J. Ogborn (1985), “Children choices of uses of energy”, European Journal of Science Education, v. 7. 2.
- A. Brook (1986), “Childrens' understanding of ideas about energy: a review of literature” in R. Driver and R. Millar (Eds) Energy Matters, University of Leeds.
- A. Brook and R. Driver (1986), “The construction of meaning and conceptual change in classroom settings: case studies on energy”, Internal report, University of Leeds.
- M. Bruneaux (1984), “La thermodynamique, une science à réformuler”, Langue Francaise, 64.
- R. Driver and R. Millar (1986), “Teaching energy in schools: towards an analysis of curriculum approaches”, in R. Driver and R. Millar (Eds) Energy Matters, University of Leeds.
- R. Driver and L. Warrington 1985), “Students' use of the principle of energy conservation in problem solving”, Physics Education, v. 20, 4.
- R. Duit et al. (Eds) (1984), International workshop: Aspects of understanding electricity, Ludwigsburg, IPN - Arbeitsberichte.
- R. Duit (1986), “In search of an energy concept”, in R. Driver and R. Millar (Eds) Energy Matters, University of Leeds.
- G. Falk, F. Herrman and G. Schmid (1983), “Energy forms or energy carriers?”, American Journal of Physics, v. 51, 12.
- P. Guidoni (1986), “A phenomenological approach to the development and differentiation of energy ideas”, in R. Driver and R. Millar (Eds) Energy Matters, University of Leeds.
- F. Halbwachs (1980), “Histoire de l'énergie mécanique”, CUIDE, 17, Université Paris 6.
- F. Halbwachs (1981), Histoire de la chaleur”, CUIDE, 18, Université Paris 6.
- F. Kedves, L. Kovacs and P. Kovesdi (1983), “Teaching energy in Hungarian schools: developing the concept over seven years”, in E. Wenham (Ed) New trends in physics teaching, v. 4, Unesco.
- Δ. Κολιόπουλος (1989), «Η ενέργεια στο χώρο και το χρόνο», Σημειώσεις για τη Β' Γυμνασίου, Ελληνογαλλική Σχολή Αγίας Παρασκευής.
- Δ. Κολιόπουλος και Δ. Ψύλλος (1989), «Οι ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της ενέργειας και η επίδρασή τους στο σχεδιασμό μιας εισαγωγικής διδασκαλίας στο γυμνάσιο», Πρακτικά Α' Πανελλήνιου Συνεδρίου Ψυχολογικής Έρευνας: Μάθηση και Εκπαίδευση, Θεσσαλονίκη (υπό έκδοση).
- D. Koliopoulos, A. Tiberghien and D. Psillos (1989), “The role of pupils' interpretations in the development of teach-

ing situations based on experiments: the case of an introductory teaching of energy in Greece (12-14 yrs)", *Absracts of the Third European Conference for Research on Learning and Instruction*, EARLI, Madrid.

D. Koliopoulos, A. Tiberghien and D. Psillos (1991a), "Introducing energy: selecting content and field of applicability so as to provide meaningful learning", *International Journal of Science Education* (to be published).

D. Koliopoulos, P. Kariotoglou and D. Psillos (1991b), "Introducing energy in the secondary school: the case of energetical chains", *Abstracts of the 1st General Conference of the Balkan Physical Union*, Thessaloniki.

Π. Κουμάρας, Δ. Ψύλλος, Ο. Βαλασιάδης και Δ. Ευαγγελίνος (1990), «Επισκόπηση των απόψεων ελλήνων μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιοχή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων», *Παιδαγωγική Επιθεώρηση*, 13.

T. Kuhn (1959), "Energy conservation as an example of simultaneous discovery, in T. Kuhn (Ed) *The essential tension*, Chicago, The University of Chicago press.

G. Lemeignan et J. Agabra (1980), "Sciences Physiques", collection Libre Parcours, Hachette.

R. Lehrman (1973), "Energy is not the ability to do work", *The Physics Teacher*, v. 11, 1, απόδοση στα ελληνικά Τ. Αναστόπουλου, *Επιθεώρηση Φυσικής*, τ. 1, 1, 1979.

R. Lindsay (1975), "Energy: historical development of the concept", Pennsylvania Dowden, Hutchinson and Ross Inc.

G. Marx (Ed) (1983), 6th Danube Seminar on Physics Education: Entropy in school, Roland Eotvos Physical Society, Balaton.

J. Merleau Ponti (1979), "La découverte des principes d'énergie: l'itinéraire de joule", *Revue de l'histoire des sciences*, XXXII 4.

D. Psillos, P. Koumaras and A. Tiberghien (1988), "Voltage presented as a primary concept in introductory teaching on DC circuits", *International Journal of Science Education*, v. 10, 1.

G. Rentzos (1986), «Η ενέργεια στο πρόγραμμα», *Απόψεις Φυσικού Κόσμου*, τεύχος 101.

C. V. Rhoneck and B. Volker (1984), "Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction", in R. Duit et al. (Eds) *Aspects of understanding electricity*, Ludwigsburg, IPN – Arbeitsberichte.

R. Sexl (1981), "Some observations concerning the teaching of the energy concept", *European Journal of Science Education*, v. 3, 3.

Y. Shadmi (1985), "The nature of certain physical concepts

and its implications on the teaching of energy", *Internal report*, University of Haifa.

G. Schmid (1982), "Energy and its carriers", *Physics Education*, v. 17, 5.

J. Solomon (1985a), "Teaching the conservation of energy", *Physics Education*, v. 20, 4.

J. Solomon (1985b), "Learning and evaluation: a study of school childrens' views on the social uses of energy", *Social Studies of Science*, v. 15.

D. Theobald (1965), "The concept of energy", E. and F. N. Spon Ltd., London.

A. Tiberghien (1983), "Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de température et chaleur pour le élèves de 10 à 16 ans", in *Recherche en Didactique de la Physique: les actes du premier atelier international*, La Londe Les Maures, CNRS.

A. Tiberghien, D. Vincent et R. Farison (1989), "From teaching content to learning situations. The case of a teaching on energy at the compulsory school level", *Abstracts of the Third European Conference for Research on Learning and Instruction*, EARLI, Madrid.

R. Trumper (1990, 1991), *Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part one and part two*", *International Journal of Science Education*, v. 13, 1.

L. Viglietta (1990), "Efficiency in the teaching of energy", *Physics Education*, v. 25.

UNESCO (1983), "New trends in physics teaching", v. 4.

UNESCO (1987), "Energy resources in science education", Pergamon Press.

J. Warren (1982), "The nature of energy", *European Journal of Science Education*, v. 4, 3.

D. Watts (1980), "The concepts force and energy" in P. Kennedy and E. Loria (Eds) *Proceedings of the International Conference on Education for Physics Teaching*, Trieste.

D. Watts (1983a), "Some alternative views of energy", *Physics Education*, v. 18, 5.

D. Watts (1983b), "A study of schoolchildrens' alternative frameworks of the concept of force", *European Journal of Science Education*, v. 5, 2.

M. Zemanski (1969), "The use of the word heat in elementary and in intermediate instruction in physics", in S. Sikjaer (Ed) *Seminar on the teaching of physics in schools*, Gyldeental.

A. Ζενάκος, N. Λεκάτης και A. Σχοινάς (1982), «Φυσική Β' Γυμνασίου», ΟΕΔΒ.