

Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1, Αρ. 3 (2008)



Οι στοιχειώδεις μαγνητικές ιδιότητες ως αναλογικοί συλλογισμοί για τη συγκρότηση ενός πρόδρομου μοντέλου της έννοιας του βάρους στη σκέψη παιδιών 11 ετών

*Κατερίνα Σκαμάγκα, Κωνσταντίνος Ραβάνης,
Δημήτρης Κολιόπουλος*

Βιβλιογραφική αναφορά:

Σκαμάγκα Κ., Ραβάνης Κ., & Κολιόπουλος Δ. (2008). Οι στοιχειώδεις μαγνητικές ιδιότητες ως αναλογικοί συλλογισμοί για τη συγκρότηση ενός πρόδρομου μοντέλου της έννοιας του βάρους στη σκέψη παιδιών 11 ετών. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 1(3), 223–253. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44675>

Οι στοιχειώδεις μαγνητικές ιδιότητες ως αναλογικοί συλλογισμοί για τη συγκρότηση ενός πρόδρομου μοντέλου της έννοιας του βάρους στη σκέψη παιδιών 11 ετών

Κατερίνα Σκαμάγκα¹, Κωσταντίνος Ραβάνης², Δημήτρης Κολιόπουλος³,
kscamaga@hotmail.com, ravanis@upatras.gr, dkoliop@upatras.gr

Περίληψη

Θέμα του συγκεκριμένου άρθρου αποτελεί η παρουσίαση των ερευνητικών αποτελεσμάτων μιας διδακτικής παρέμβασης, η οποία είχε ως αντικείμενο τη διδασκαλία του βάρους ως δύναμης που δρα από απόσταση σε παιδιά ηλικίας 11 ετών. Επιχειρώντας να ανταποκριθούμε σε εγγενείς απαιτήσεις που σχετίζονται με το Νευτωνικό μοντέλο προσέγγισης της έννοιας του βάρους, θέσαμε ως στόχο της διδασκαλίας τη συγκρότηση ενός πρόδρομου μοντέλου για το βάρος. Κινούμενοι μέσα σε ένα διδακτικό πλαίσιο οικοδόμησης της γνώσης, η διδακτική προσέγγιση του υπό συγκρότηση πρόδρομου μοντέλου έγινε μέσω της χρήσης των στοιχειωδών ιδιοτήτων των μαγνητών ως αναλογιών. Το αντικείμενο της έρευνας ήταν κατά πόσο η επιλογή της χρήσης των στοιχειωδών ιδιοτήτων των μαγνητών ως αναλογικοί συλλογισμοί οδηγεί στην οικοδόμηση ενός πρόδρομου μοντέλου για την έννοια του βάρους.

Θεωρητική προβληματική

Η έρευνα αυτή εντάσσεται σε ένα πλαίσιο θεωρητικών προσεγγίσεων όπου η μάθηση θεωρείται προϊόν κοινωνικών αλληλεπιδράσεων και πιο συγκεκριμένα προϊόν των δυναμικών αλληλεπιδράσεων που επικρατούν κατά τη μαθησιακή διαδικασία κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο που παίζουν, κατά τη διαδικασία της μάθησης, οι βιωματικές νοητικές παραστάσεις ως γνωστικά

¹ ΤΕΕΑΠΗ, Πανεπιστήμιο Πατρών

² ΤΕΕΑΠΗ, Πανεπιστήμιο Πατρών

³ ΤΕΕΑΠΗ, Πανεπιστήμιο Πατρών

εμπόδια στην οικοδόμηση της γνώσης και κινούμενοι στα πλαίσια της εποικοδομητικής προσέγγισης, όπου ο μαθητής θεωρείται ενεργό υποκείμενο που οικοδομεί τις γνώσεις του στα πλαίσια προβληματικών καταστάσεων που αντιμετωπίζει, οδηγηθήκαμε στο σχεδιασμό και στην πραγματοποίηση μιας διδακτικής παρέμβασης για την έννοια του βάρους χρησιμοποιώντας ως πλαίσιο της πειραματικής διαδικασίας αυτό της οικοδόμησης ενός πρόδρομου εξηγητικού μοντέλου μέσω της διδακτικής στρατηγικής του αναλογικού συλλογισμού (Ραβάνης, 2003; Κολιόπουλος, 2007), χρησιμοποιώντας ως αναλογία τις στοιχειώδεις μαγνητικές ιδιότητες.

Τα πρόδρομα μοντέλα

Η μοντελοποίηση, δηλαδή η διαδικασία επινόησης και χρήσης μοντέλων, είναι βασικό στοιχείο της επιστημονικής σκέψης και εργασίας. Όμως, η λειτουργία της μοντελοποίησης δεν συναντάται μόνο στο χώρο της επιστήμης. Κάθε άνθρωπος, εξαιτίας της σχέσης που διατηρεί με το περιβάλλον, οδηγείται στην οικοδόμηση νοητικών μοντέλων, δηλαδή σε προσωπικές, εσωτερικές νοητικές παραστάσεις με βάση τις οποίες ενεργεί πάνω στο περιβάλλον, εξηγεί αλληλεπιδράσεις που παρατηρεί και προβλέπει καινούργιες. Αυτές οι νοητικές παραστάσεις είναι αυθόρμητες, γιατί δημιουργούνται μέσα από άτυπες διαδικασίες μάθησης. Επίσης, συνήθως είναι άρρητες και ασυνείδητες σε αντίθεση με τις επιστημονικές που είναι ρητές και συνειδητές (Lemeignan & Weil-Barais, 1997). Οι τρόποι ερμηνείας που βασίζονται στις νοητικές παραστάσεις που είναι προϊόντα της κοινής γνώσης, βρίσκονται σε διάσταση με τους τρόπους ερμηνείας που χρησιμοποιεί η επιστημονική σκέψη.

Οι Lemeignan και Weil-Barais (Lemeignan & Weil-Barais, 1997) θεωρώντας ότι υπάρχει ένα πολύ μεγάλο χάσμα μεταξύ των δύο τύπων ερμηνείας, οδηγούνται στην πραγματοποίηση διδακτικών διευθετήσεων επί των επιστημονικών μοντέλων, έτσι ώστε αυτά να γίνουν προσιτά από τους μαθητές. Ως τρόπο διευθέτησης της μετάβασης από τον έναν τύπο ερμηνείας στον άλλον προτείνουν τα *πρόδρομα μοντέλα*. Με τον όρο *πρόδρομα μοντέλα* αναφέρονται σε μοντέλα που προετοιμάζουν τους μαθητές να οικοδομήσουν επιστημονικά μοντέλα, είναι δηλαδή πρόδρομα σε ό,τι αφορά τη γνωστική ανάπτυξη και όχι ιστορικοί πρόδρομοι. Με αυτήν την έννοια, τα πρόδρομα μοντέλα διαθέτουν κάποια κρίσιμα χαρακτηριστικά των επιστημονικών μοντέλων στα οποία τείνουν. Όπως σημειώνουν οι Lemeignan και Weil-Barais, «βοηθώντας τους μαθητές να οικοδομήσουν μια διαδοχή πρόδρομων μοντέλων, είναι δυνατό να αποφευχθεί η επιβολή απότομων ρήξεων μεταξύ της κοινής και της επιστημονικής σκέψης, που λίγοι από αυτούς είναι έτοιμοι να αποδεχθούν για ποικίλους λόγους» (Lemeignan & Weil-Barais, 1997: 46).

Ένα πρόδρομο μοντέλο για το βάρος

Δύο είναι τα στοιχεία που απαιτούνται για την οικοδόμηση της έννοιας του βάρους στο Νευτώνικό πλαίσιο:

1. Οι βαρυτικές δυνάμεις είναι ελκτικές δυνάμεις που δρουν από απόσταση.
2. Οι βαρυτικές δυνάμεις είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των μαζών.

Επομένως, ένα μοντέλο το οποίο θα επιδιώκαμε να οικοδομήσουμε στο επίπεδο της σχολικής πραγματικότητας για την κατανόηση των βαρυτικών δυνάμεων, θα έπρεπε να περιλαμβάνει τα δύο αυτά χαρακτηριστικά

Ωστόσο, στην ηλικία των 11 ετών είναι εξαιρετικά δύσκολο να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για την ταυτόχρονη προσπέλαση και νοητική συγκρότηση μιας σειράς αφηρημένων εννοιών όπως η δύναμη, η άσκηση δύναμης από απόσταση, η μάζα ως παράγοντας αλληλεπίδρασης, η ομογενής συμπεριφορά μαζών διαφορετικών διαστάσεων κλπ. Έτσι, επιχειρώντας να δημιουργήσουμε μια σειρά διδακτικών ενοτήτων με σκοπό μια προσέγγιση της νοητικής συγκρότησης του βάρους ως έννοιας, με βάση δομημένες δραστηριότητες, στην έρευνα αυτή περιοριζόμαστε στη συγκρότηση ενός πρόδρομου μοντέλου, το οποίο αναφέρεται στο πρώτο χαρακτηριστικό της βαρυτικής δύναμης, τη δράση από απόσταση και μάλιστα, επικεντρώνουμε την προσπάθειά μας στην περίπτωση της ελκτικής δύναμης που ασκεί η Γη σε όλα τα σώματα, δηλαδή στο βάρος.

Οι αναλογίες και ο αναλογικός συλλογισμός

Ο αναλογικός συλλογισμός είναι μια νοητική διαδικασία, η οποία επιτρέπει την κινητοποίηση και προσαρμογή ειδικών γνώσεων, συγκροτημένων υπό κάποιες συνθήκες σε μια δεδομένη γνωστική περιοχή, για την αντιμετώπιση προβλημάτων των οποίων τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις συναντώνται και σε άλλες γνωστικές περιοχές (Ripoll, 1992). Έτσι, ο αναλογικός συλλογισμός αποτελεί ένα γνωστικό μηχανισμό με τον οποίο επιχειρούμε την επίλυση ενός καινούργιου προβλήματος, χρησιμοποιώντας τις δομικές ομοιότητες που αυτό παρουσιάζει με ένα πρόβλημα το οποίο μας είναι οικείο και του οποίου γνωρίζουμε τη λύση.

Τα αναλογικά μοντέλα έχουν ευρετική αξία, η οποία έχει αποδειχθεί και ιστορικά (Gee, 1978; Χριστοδουλίδης, 1979; Kirpniš, 2005). Αυτό σημαίνει ότι λειτουργούν ως εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν στην αναπαράσταση ή στην άρθρωση μιας καινούργιας ιδέας, η οποία μπορεί να απαιτεί πολλές φορές υψηλό νοητικό επίπεδο αφάιρησης.

Ο αναλογικός συλλογισμός αποδεικνύεται ιδιαίτερα λειτουργικός στα πλαίσια της εποικοδομητικής προσέγγισης της γνώσης, όπου η νοητική συγκρότηση της νέας γνώσης πραγματοποιείται με βάση τα όσα ήδη γνωρίζει ο μαθητής (Κολιόπουλος, 2007), τον βοηθάει να οικοδομήσει τη νέα γνώση συγκρίνοντας την με αυτή που ήδη κατέχει, να την ενσωματώσει στην ήδη υπάρχουσα (Glynn et al., 1995) και λειτουργεί σαν *εννοιολογική γέφυρα* μεταξύ της υπάρχουσας και της νέας γνώσης (Glynn, 1996). Με τη στρατηγική του αναλογικού συλλογισμού «ο μαθητής μαθαίνει τις έννοιες ως οργανωμένα δίκτυα συσχετιζόμενων πληροφοριών και όχι ως λίστες γεγονότων» (Glynn et al., 1995: 249). Μια τέτοια γνώση μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί, να ανακληθεί και να εφαρμοστεί με επιτυχία.

Η διδακτική αξία του αναλογικού συλλογισμού είναι πολύ μεγάλη και για αυτό χρησιμοποιείται πολύ συχνά στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, ιδιαίτερα στη διδασκαλία σύνθετων εννοιών που γίνονται δύσκολα κατανοητές από τους μαθητές. Οι Dupin και Johsua (1989) προτείνουν ως αναλογικό μοντέλο για τη διδασκαλία του απλού ηλεκτρικού κυκλώματος αυτό της κίνησης ενός τρένου. Για τη διδασκαλία βασικών εννοιών του δυναμικού ηλεκτρισμού όπως της τάσης, της έντασης, της μπαταρίας, της αντίστασης οι Gentner και Gentner (1983) προτείνουν δυο αναλογίες, του υδραυλικού συστήματος και του κινούμενου πλήθους, υποστηρίζοντας ότι κάθε μια από τις αναλογίες βοηθά στην καλύτερη κατανόηση διαφορετικών εννοιών. Για παράδειγμα ο ρόλος της μπαταρίας σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα γίνεται ευκολότερα κατανοητός μέσω του υδραυλικού συστήματος ενώ ο ρόλος της αντίστασης μέσω του μοντέλου του κινούμενου πλήθους.

Ο Hewitt (Hewitt, 1992) εισάγει το νόμο του Coulomb

$$(F=k \frac{q_1 q_2}{r^2})$$

μέσω των αναλογιών που εμφανίζει αυτός ο νόμος με το νόμο της παγκόσμιας έλξης

$$(F=G \frac{m_1 m_2}{r^2})$$

Όμως η μη συστηματική χρήση του αναλογικού συλλογισμού μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές στη δημιουργία λανθασμένων νοητικών παραστάσεων. Ο Glynn (1995; 1996) προτείνει το μοντέλο 'Teaching with analogies' για τη διδασκαλία μέσω της χρήσης αναλογικών μοντέλων, το οποίο συνίσταται στη χρήση έξι λειτουργιών που ο εκπαιδευτικός πρέπει να πραγματοποιεί, όταν παρουσιάζει μια αναλογία:

- α) εισαγωγή της έννοιας-στόχος,
- β) επανάληψη της αναλογικής έννοιας,

- γ) αναγνώριση των σχετικών χαρακτηριστικών που υπάρχουν μεταξύ του στόχου και της αναλογίας,
- δ) χαρτογράφηση των ομοιοτήτων,
- ε) επισήμανση των χαρακτηριστικών όπου η αναλογία δεν λειτουργεί,
- στ) εξαγωγή συμπερασμάτων. Το μοντέλο αυτό είναι ένας τρόπος με τον οποίο ιδέες μπορούν να μεταφερθούν από μια οικεία έννοια σε μια μη οικεία.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι για την επιτυχή λειτουργία του αναλογικού μοντέλου απαραίτητες προϋποθέσεις είναι η εξοικείωση και η κατανόηση της λειτουργίας του γνωστού συστήματος, και για την αποφυγή παρανοήσεων και λανθασμένων αντιλήψεων, η εστίαση στα όρια εγκυρότητας του αναλογικού μοντέλου, δηλαδή σε καταστάσεις όπου το μοντέλο δεν μπορεί να ανταποκριθεί, στις λεγόμενες *αρνητικές αναλογίες* (Χριστοδουλίδης, 1979). Όπως σημειώνει ο Kίρnis, «μια από τις κύριες πηγές λανθασμένων αντιλήψεων είναι η άποψη ότι η αναλογία πρέπει να απαντά σε όλα τα ερωτήματα που σχετίζονται με μια ιδιαίτερη περιοχή, όπως για παράδειγμα ο ηλεκτρισμός. Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να τονίζουν ξανά και ξανά ότι κάθε αναλογία έχει περιορισμένα όρια εφαρμογής και να προτρέπουν τους μαθητές να ορίζουν αυτά ως καταστάσεις στις οποίες η αναλογία δεν λειτουργεί» (Kίρnis, 2005: 229).

Η αναλογία ανάμεσα στις μαγνητικές και στις βαρυτικές δυνάμεις

Για την οικοδόμηση ενός πρόδρομου μοντέλου για το βάρος ως δύναμη που δρα από απόσταση, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε, για την ανάπτυξη του αναλογικού συλλογισμού, ορισμένες στοιχειώδεις μαγνητικές ιδιότητες. Οι λόγιοι που μπορούν να στηρίξουν αυτήν την επιλογή είναι:

1. Οι αναλογίες ανάμεσα στη μαγνητική δύναμη και στη δύναμη του βάρους. Εξάλλου και ιστορικά διαπιστώνονται τέτοιες αναλογίες σε πολλά επίπεδα, αν και οι σχέσεις που αναγνωρίζονταν μεταξύ μαγνητισμού και βαρύτητας ήταν πολύσημες και πολύπλοκες (Βουτσινά & Ραβάνης, 2007)
2. Η μαγνητική δύναμη είναι πιο οικεία στα παιδιά από αυτή του βάρους γιατί αφενός τα παιδιά είναι αρκετά εξοικειωμένα με τους μαγνήτες από την καθημερινή τους χρήση και αφετέρου τα σώματα που αλληλεπιδρούν (μαγνήτες-σιδερένια σώματα) έχουν πολύ συγκεκριμένη υπόσταση.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω ο Hewitt (Hewitt, 1992) κάνει αναφορά στην αναλογία που υπάρχει ανάμεσα στο νόμο της παγκόσμιας έλξης στο νόμο του Coulomb για τα σημειακά ηλεκτρικά φορτία. Παρόλα αυτά οδηγηθήκαμε στην επιλογή των μαγνητών, γιατί ο νόμος του Coulomb, έστω και ποιοτικά, αποτελεί ένα ιδιαίτερα

δύσκολο και άγνωστο αντικείμενο για τα παιδιά αυτής της ηλικίας και δεν υπάρχει στο αναλυτικό πρόγραμμα του δημοτικού. Στον Πίνακα 1 παραθέτουμε τις αναλογίες ανάμεσα στα αντικείμενα, τις ιδιότητες και τις σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στο γνωστό σύστημα που είναι η μαγνητική δύναμη και, στο άγνωστο σύστημα-στόχος που είναι το βάρος (Mayer, 1999).

Πίνακας 1. Αναλογίες μεταξύ βαρυτικής και μαγνητικής δύναμης

	Βαρυτική δύναμη	Μαγνητική δύναμη
Αντικείμενα	Μάζες	Μαγνήτες Μαγνήτες-σιδερένια αντικείμενα
Ιδιότητες	Δύναμη από απόσταση	Δύναμη από απόσταση
Σχέσεις	Το μέτρο της δύναμης είναι ανάλογο των μαζών	Το μέτρο της δύναμης είναι ανάλογο της ισχύος των μαγνητών

Οι παραπάνω αναλογίες μας επιτρέπουν να προσεγγίσουμε το επιστημονικό μοντέλο της βαρυτικής αλληλεπίδρασης σύμφωνα με το Νευτωνικό πλαίσιο. Εμείς, επειδή ενδιαφερόμαστε για την οικοδόμηση ενός πρόδρομου μοντέλου για το βάρος, ως δύναμης που δρα από απόσταση, εστιάζουμε στην αναλογία που αναφέρεται στην ιδιότητα των βαρυτικών και μαγνητικών δυνάμεων να δρουν από απόσταση.

Ωστόσο, για την αποφυγή δημιουργίας παρανοήσεων κρίναμε σκόπιμο να αναδείξουμε τα όρια της αναλογίας, τα οποία συνίστανται στις δύο παρακάτω αρνητικές αναλογίες:

- Οι μαγνητικές δυνάμεις είναι ελκτικές και απωστικές σε αντίθεση με τις βαρυτικές που είναι μόνο ελκτικές.
- Οι μαγνήτες έλκουν μόνο τα σιδερένια σώματα ενώ η Γη ασκεί ελκτικές δυνάμεις σε όλα τα σώματα.

Οι βιωματικές νοητικές παραστάσεις των μαθητών

Επειδή στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιούμε τον αναλογικό συλλογισμό και η επιτυχής ανάπτυξη του αναλογικού συλλογισμού προϋποθέτει την καλή γνώση του γνωστού συστήματος που λειτουργεί ως αναφορά (μοντέλο αναφοράς), που στην περίπτωση μας είναι ο μαγνητισμός, εκτός από την καταγραφή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για το βάρος, που αποτελεί το διδακτικό μας αντικείμενο, οδηγηθήκαμε και στην καταγραφή των παραστάσεων που έχουν οι μαθητές για το μαγνητισμό, μέσω της αντίστοιχης βιβλιογραφίας.

Για την καταγραφή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών για τη δύναμη του βάρους έχει πραγματοποιηθεί μια σειρά ερευνών, από τις οποίες αναδεικνύεται ως κυρίαρχη, για τα παιδιά της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, αυτή του βάρους ως ιδιότητας του σώματος. Ελάχιστες έρευνες έχουν μελετήσει το πώς τα παιδιά αντιλαμβάνονται το γεγονός ότι οι μαγνητικές και οι βαρυτικές δυνάμεις είναι δυνάμεις που δρουν από απόσταση. Στο βαθμό βέβαια που αυτές έχουν γίνει, έχουν αναδείξει ιδιαίτερα στην περίπτωση του βάρους, ότι τα παιδιά θεωρούν απαραίτητη για την ύπαρξη του βάρους, την ύπαρξη του αέρα (Bar et al., 1994; Stead & Osborne, 1980; Watts & Gilbert, 1985). Αυτή η νοητική παράσταση έχει ερμηνευθεί διαφορετικά από τους ερευνητές, δηλαδή ότι για τη δράση μιας δύναμης από απόσταση χρειάζεται ένας σύνδεσμος και το ρόλο αυτόν τον επιτελεί ο αέρας (Bar et al., 1994), ή ότι η βαρύτητα βρίσκεται έξω από τα αντικείμενα και δεν εκλαμβάνεται ως ιδιότητα αυτών (Stead & Osborne, 1980). Αξιοσημείωτη είναι η απουσία οποιασδήποτε αναφοράς από τη μεριά των παιδιών στην έννοια του βαρυτικού πεδίου.

Στην περίπτωση των μαγνητικών δυνάμεων, η έννοια του ενδιάμεσου εμφανίζει μια ποικιλία: αέρας, μόρια ή στοιχεία που εκρέουν από το μαγνήτη, δύναμη που ρέει, μαγνητικά ρεύματα, μαγνητικά κύματα, ακτίνες (Vamvakoussis, 1984), ενέργεια, μαγνητικό πεδίο (Erickson, 1994).

Η δύναμη από απόσταση και ιδιαίτερα αυτή του βάρους είναι μια δύναμη που δεν στηρίζεται σε αντιληπτικά δεδομένα, όπως η δύναμη από επαφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλά παιδιά να θεωρούν απαραίτητη την ύπαρξη ενός μέσου ή κάποιου ενδιάμεσου για τη δράση αυτής της δύναμης. Θεωρώντας πρώτον, ότι η αποσταθεροποίηση αυτών των νοητικών παραστάσεων σχετικά με την αναγκαιότητα της ύπαρξης του μέσου απαιτεί ικανότητες νοητικής αφαίρεσης που δεν χαρακτηρίζουν τα παιδιά στο τέλος της στοιχειώδους εκπαίδευσης και ότι αυτές σε μεγαλύτερες ηλικίες παίρνουν όλο και μικρότερη υλική υπόσταση (Vamvakoussis, 1984) και δεύτερον, ότι αυτές οι παραστάσεις θα μπορούσαν να ενταχθούν σε άλλα εννοιολογικά πλαίσια, όπως αυτό του Faraday, ο οποίος προσδίδει στο χώρο ένα ρόλο 'πράκτορα' (Gillispie, 1994), κρίναμε ότι, σε ένα πρώτο επίπεδο, αυτό που πρέπει να αντιληφθούν τα παιδιά είναι ότι το βάρος είναι μια δύναμη και όχι ιδιότητα του σώματος και μάλιστα, μια δύναμη από απόσταση, εστιάζοντας στη διαφορά της από τη δύναμη επαφής.

Μεθοδολογική προβληματική

Ο πληθυσμός της έρευνας μας ήταν παιδιά που φοιτούσαν στην Στ' Δημοτικού ιδιωτικού σχολείου των Αθηνών, ηλικίας 11 περίπου ετών. Η επιλογή του δείγματος των παιδιών που συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση έγινε μετά από την ανάλυση

των δεδομένων δύο ερωτηματολογίων (παρατίθενται στο *παράρτημα*), στα οποία κλήθηκαν να απαντήσουν σε συγκεκριμένες ερωτήσεις. Με το πρώτο ερωτηματολόγιο εντοπίσαμε τα παιδιά τα οποία χρησιμοποιούσαν επαρκείς συλλογισμούς σχετικούς με τη μαγνητική δράση και με το δεύτερο ερωτηματολόγιο, από τα παιδιά αυτά επιλέξαμε εκείνα που αντιλαμβάνονταν το βάρος ως ιδιότητα σώματος και, ταυτοχρόνως, η σκέψη τους είχε τη μεγαλύτερη απόσταση από τα χαρακτηριστικά του Νευτωνικού πλαισίου. Έτσι, εργαστήκαμε με έξι μαθητές, οι οποίοι συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση σε τρεις ομάδες των δυο ατόμων. Πραγματοποιήθηκαν τρεις παρεμβάσεις και οι τρεις από την εκπαιδευτικό που δίδασκε στα παιδιά το μάθημα των Φυσικών Επιστημών.

Δεν τέθηκαν χρονικοί περιορισμοί για τη διάρκεια της κάθε παρέμβασης. Κατά μέσο όρο η κάθε παρέμβαση διάρκεσε σαράντα πέντε λεπτά. Οι διδακτικές παρεμβάσεις μαγνητοφωνήθηκαν και το απομαγνητοφωνημένο υλικό αναλύθηκε. Ο λόγος που οδηγηθήκαμε σε ανάλυση των διαλόγων ήταν ο περιορισμένος αριθμός των μαθητών που πληρούσαν τις προϋποθέσεις που είχαμε θέσει. Από τις τρεις απομαγνητοφωνήσεις επιλέξαμε εκείνη που θεωρήσαμε ότι μας παρείχε πλουσιότερο υλικό για ανάλυση.

Η ανάλυση βασίστηκε σε μια πολυεπίπεδη προσέγγιση των διαλόγων μεταξύ εκπαιδευτικού και μαθητών, ένα από τα θέματα της οποίας ήταν η προσέγγιση των εννοιών από τους μαθητές κατά τη διάρκεια της εκδίπλωσης διαφόρων στρατηγικών από την εκπαιδευτικό (Dumas-Carré et al., 2003).

Γνωστικοί στόχοι

Για τη μετάβαση από μια νοητική παράσταση του βάρους ως ιδιότητας σώματος σε μια παράσταση με όρους δύναμης που δρα από απόσταση, θέσαμε τους εξής γνωστικούς στόχους (Σκαμάγκα et al., 2002)

- Το βάρος, ελκτική δύναμη που ασκεί η Γη στα σώματα από απόσταση.
- Τα σώματα, όταν πέφτουν, κατευθύνονται πάντα προς τη Γη.

Το μέτρο της δύναμης του βάρους μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται η απόσταση του σώματος από τη Γη.

Παιδαγωγική στρατηγική

Με βάση το μοντέλο “Teaching with analogies” που προτείνει ο Glynn (1995; 1996) για τη διδασκαλία μέσω της χρήσης αναλογικών μοντέλων και θεωρώντας απαραί-

τητη τη διασαφήνιση των αρχικών νοητικών παραστάσεων των μαθητών, αποφασίσαμε να επιλέξουμε την παρακάτω στρατηγική:

- Αναζήτηση εξήγησης /πρόβλεψη ενός φαινομένου που σχετίζεται με τη βαρύτητα
- Πειραματική παρουσίαση ενός ανάλογου φαινομένου για τους μαγνήτες
- Διαπιστώσεις και συμπεράσματα που σχετίζονται με το αναλογικό μοντέλο
- Επαναφορά στο αρχικό φαινόμενο. Εξήγηση /πρόβλεψη του αρχικού φαινομένου
- Με τη στρατηγική αυτή στοχεύουμε στη δημιουργία παραστάσεων από το εμπειρικό πεδίο (βαρύτητα) και στη συσχέτιση τους με το μοντέλο των μαγνητών (Σταυρίδου, 1995).

Τα έργα

Σε συμφωνία με τους γνωστικούς στόχους και την παραπάνω αναφερόμενη παιδαγωγική στρατηγική, σχεδιάσαμε και χρησιμοποιήσαμε στις διδακτικές παρεμβάσεις τα εξής έργα (Σκαμάγκα, 2001):

Έργο 1: Πού οφείλεται η πτώση των σωμάτων;

Αφήνουμε ένα στυλό και πέφτει. “Πώς εξηγείτε αυτό το φαινόμενο”; Με την ερώτηση αυτή ανιχνεύουμε τις νοητικές παραστάσεις των παιδιών για την αιτία της πτώσης των σωμάτων. Για την υπέρβαση της αυθόρμητα συγκροτημένης παράστασης και την οικοδόμηση του πρώτου γνωστικού στόχου χρησιμοποιούμε ως εργαλείο τους μαγνήτες. Μετακινούμε ένα σιδερένιο αυτοκινητάκι με ένα μαγνήτη, κρύβοντας το μαγνήτη πίσω από ένα χαρτί. Ζητάμε από τους μαθητές να εξηγήσουν την κίνηση του αυτοκινήτου. Εάν δεν λάβουμε κάποια απάντηση αποκαλύπτουμε εμείς τον κρυμμένο μαγνήτη. Επικεντρώνουμε τη συζήτηση στην ιδιότητα του μαγνήτη να ασκεί δυνάμεις από απόσταση και κάνουμε τη διάκριση αυτής της δύναμης από τη δύναμη επαφής που ασκούμε με τα χέρια μας. Ζητάμε από τους μαθητές να εξηγήσουν την πτώση του στυλό, έχοντας κατά νου αυτά που γνωρίζουν για τους μαγνήτες. Στο τέλος του έργου, για να ελέγξουμε κατά πόσο οι μαθητές έχουν μετακινηθεί από τις προηγούμενες παραστάσεις τους, τους ζητάμε να προβλέψουν τη συμπεριφορά ενός σώματος στην περίπτωση που δεν το τραβά η Γη.

Έργο 2: Προς τα πού θα κινηθεί ένας μετεωρίτης που πέφτει στην Αυστραλία;

Το δεύτερο έργο επιδιώκει την επίτευξη του δεύτερου γνωστικού στόχου. Με την ερώτηση αυτή αποσκοπούμε στην ανίχνευση της σημασίας της έκφρασης «τα σώματα πέφτουν προς τα κάτω». Δείχνουμε στους μαθητές μια υδρόγειο σφαίρα και ζητάμε να προβλέψουν προς τα πού θα κινηθεί ένα σώμα, εάν το αφήσουμε ελεύθερο σε διάφορες θέσεις. Επίσης, τους ρωτάμε να πουν τι εννοούν όταν λένε ότι ένα σώμα κινείται προς τα πάνω και τι προς τα κάτω. Στη συνέχεια, κρεμάμε ένα μαγνήτη από ένα σταθερό σημείο και τοποθετούμε ένα συνδετήρα σε διάφορες θέσεις ως προς αυτόν. Ζητάμε από τους μαθητές να παρατηρήσουν την κατεύθυνση της κίνησης του συνδετήρα. Επαναλαμβάνουμε την αρχική ερώτηση σχετικά με την κατεύθυνση κίνησης των σωμάτων.

Έργο 3: Μεταβάλλεται το βάρος ενός σώματος όταν αυτό απομακρύνεται από τη Γη;

Το τρίτο έργο επιδιώκει την επίτευξη του τρίτου γνωστικού στόχου. Ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν εάν η δύναμη με την οποία η Γη έλκει ένα σώμα, θα μεταβληθεί εάν αυξήσουμε την απόσταση του σώματος από αυτή. Στη συνέχεια, αυξάνουμε την απόσταση ενός συνδετήρα από ένα μαγνήτη και ζητούμε από τους μαθητές να παρατηρήσουν αυτό που συμβαίνει. Κατόπιν επαναλαμβάνουμε το αρχικό ερώτημα σχετικά με το σώμα.

Έργο 4: Ανάδειξη των ορίων της αναλογίας

Με το έργο αυτό επιδιώκουμε την ανάδειξη των αρνητικών αναλογιών για λόγους που σχετίζονται με την επιτυχή λειτουργία του αναλογικού συλλογισμού και την αποφυγή ταύτισης της μαγνητικής δύναμης με τη δύναμη του βάρους. Μετά από μια σύνοψη των θετικών αναλογιών, ζητάμε από τους μαθητές να εντοπίσουν τυχόν διαφορές ανάμεσα στη μαγνητική δύναμη και στο βάρος. Στοχεύουμε στην ανάδειξη των δύο χαρακτηριστικών όπου η αναλογία δεν λειτουργεί, δηλαδή:

- Η βαρυτική δύναμη είναι ελκτική, ενώ η μαγνητική είναι ελκτική και απωστική.
- Η Γη έλκει όλα τα σώματα, ενώ ένας μαγνήτης έλκει μόνο τα σιδερένια αντικείμενα

Έργο 5: Εφαρμογή σε σχετικά φαινόμενα

Με το έργο αυτό επιδιώκουμε την εφαρμογή των καινούργιων παραστάσεων σε φαινόμενα, όπου η δράση του βάρους δεν είναι άμεσα αντιληπτή, με στόχο την εδραίωση της καινούργιας γνώσης και την ανάδειξη της επάρκειας της για την εξήγη-

ση φαινόμενων που μέχρι πρότινος έμοιαζαν ασύνδετα μεταξύ τους. Ζητάμε από τους μαθητές να εξηγήσουν την πτώση των φύλλων ενός δέντρου, την κίνηση ενός σώματος που αφήνεται από την κορυφή ενός κεκλιμένου επιπέδου καθώς και την κίνηση του εκκρεμούς.

Ερευνητικό ερώτημα

Σύμφωνα με όσα ήδη αναφέραμε, το περιεχόμενο της διδακτικής παρέμβασης συνίσταται στη συγκρότηση ενός πρόδρομου μοντέλου για το βάρος ως δύναμης που δρα από απόσταση, μέσω της χρήσης των στοιχειωδών ιδιοτήτων των μαγνητών ως αναλογιών. Το ερευνητικό ερώτημα που θέτουμε είναι κατά πόσο η επιλογή της χρήσης των στοιχειωδών ιδιοτήτων των μαγνητών ως αναλογιών οδηγεί στην επίτευξη των παραπάνω αναφερθέντων γνωστικών στόχων.

Αποτελέσματα: Η συγκρότηση των εννοιών

Στο κομμάτι αυτό παρακολουθούμε αναλυτικά, μέσω μιας ανάλυσης των διαλόγων, πώς οι μαθητές οδηγούνται στην οικοδόμηση ενός πρόδρομου μοντέλου για το βάρος, μέσω του αναλογικού συλλογισμού που βασίζεται στις στοιχειώδεις μαγνητικές ιδιότητες. Μέσα από τη μελέτη των συλλογισμών των μαθητών γίνεται φανερός και ο ρόλος των δυναμικών αλληλεπιδράσεων στη μάθηση, αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας μεταξύ του εκπαιδευτικού και των μαθητών.

Η συγκρότηση των εννοιών που θα αναλύσουμε και αναφέρονται στον *πίνακα 2*, έχουν καθοριστεί από τη φάση του σχεδιασμού της διδακτικής παρέμβασης και με βάση αυτές, μάλιστα, οργανώθηκαν και τα τρία πρώτα έργα. Κάθε έργο στοχεύει στην οικοδόμηση ενός βασικού χαρακτηριστικού της δύναμης του βάρους (IA, IIA, IIIA). Κρίνουμε ότι η πλήρης οικοδόμηση αυτών των χαρακτηριστικών πρέπει να συνοδεύεται και από τη διασαφήνιση στοιχείων ή εκφράσεων που τα συνοδεύουν (IB, IIB).

Σχετικά με την έννοια του βαρυτικού πεδίου (IIIB), αυτή δεν υπήρχε στον αρχικό σχεδιασμό, αλλά αναδείχθηκε από τα ίδια τα παιδιά κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης, από όπου μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η χρήση του αναλογικού συλλογισμού οδήγησε στην ενεργοποίηση μιας ιδέας πεδίου.

Πίνακας 2. Συγκροτήσεις εννοιών σχετικές με την οικοδόμηση ενός πρόδρομου μοντέλου για το βάρος

IA	Η έννοια του βάρους ως δύναμης
IB	Διαφοροποίηση της δύναμης επαφής και της δύναμης από απόσταση
IIA	Το βάρος είναι μια δύναμη που κατευθύνεται πάντοτε προς τη Γη
IIB	Η έννοια του «κάτω»
IIIA	Το βάρος μεταβάλλεται με τη μεταβολή της απόστασης του σώματος από τη Γη
IIIB	Η έννοια του βαρυτικού πεδίου ως χώρος εξάσκησης δυνάμεων και τα όρια αυτού

Η έννοια του βάρους ως δύναμης

Σύμφωνα με το πρώτο έργο η ερευνήτρια ζητά από τους δυο μαθητές να εξηγήσουν την πτώση ενός στυλό επιδιώκοντας να οδηγήσει τους δυο μαθητές σε μια μετάβαση από μια νοητική παράσταση του βάρους ως ιδιότητας σώματος σε μια παράσταση του βάρους ως ελκτικής δύναμης που ασκείται στα σώματα από τη Γη.

E: Αφήνω αυτό το στυλό και..., πέφτει, εντάξει; Πώς το εξηγείτε;

M₁: Γιατί έχει βάρος

E: Γιατί έχει βάρος. Δηλαδή τι εννοείς όταν λες έχει βάρος;

M₁: E, δεν μπορεί να σταθεί εκεί πάνω, είναι βαρύ και το βάρος του το τραβάει προς τα κάτω.

M₂: Υπάρχει ο νόμος της βαρύτητας.

E: Δηλαδή τι εννοείς εσύ, όταν λες ότι υπάρχει ο νόμος της βαρύτητας;

M₂: Ότι υπάρχει βαρύτητα, δεν ξέρω, δεν γνωρίζω πάρα πολλά για αυτό. Ξέρω ότι υπάρχει βαρύτητα, που υπάρχει στη Γη εδώ και δεν υπάρχει στη Σελήνη, για αυτό και στη Σελήνη είμαστε στον αέρα. Εδώ πέρα όμως υπάρχει βαρύτητα.

E: Γιατί άραγε να μη πηγαίνουν προς τα πάνω; Ή γιατί να μη μένουν εκεί που τα αφήνουμε, να μην αιωρούνται;

M₁: Γιατί το βάρος τα τραβάει προς τα κάτω.

M₂: Εάν είναι κάτι ελαφρύ;

M₁: Εάν είναι κάτι ελαφρύ, ας πούμε ένα πούπουλο, πέφτει πιο αργά, πηγαينόρχεται στον αέρα, μετά πέφτει κάτω.

Στην αρχή της διδακτικής παρέμβασης, η μαθήτρια M_1 αντιλαμβάνεται το βάρος ως μια ιδιότητα σώματος, την οποία την έχουν όλα τα σώματα ακόμα και τα ελαφριά, απλώς αυτά πέφτουν πιο αργά.

Ο μαθητής M_2 αναφέρεται στο νόμο της βαρύτητας, χωρίς να γνωρίζει όμως το περιεχόμενο του. Εδώ γίνονται φανερές οι επιδράσεις του κοινωνικού περιβάλλοντος. Με την φράση του «εάν είναι κάτι ελαφρύ» υπονοεί ότι την ιδιότητα του βάρους την έχουν μόνο τα βαριά σώματα.

Η ερευνήτρια ευθύς εξαρχής ορίζει τα πλαίσια στα οποία θα κινηθεί η συζήτηση. Επιχειρεί την εισαγωγή του αναλογικού συλλογισμού.

E: ...θα παρατηρήσουμε ένα άλλο φαινόμενο και μετά θα δούμε αυτό πόσο μπορεί να μας βοηθήσει, για να εξηγήσουμε γιατί πέφτουν τα σώματα.

Μεσολαμβάν κάποια επεισόδια που στοχεύουν στην ανάκληση των διαθέσιμων γνώσεων σχετικά με τους μαγνήτες, όπως ότι οι μαγνήτες έλκουν μόνο τα σιδερένια αντικείμενα, η μαγνητική δύναμη δρα από απόσταση και ότι ο μαγνήτης δημιουργεί γύρω του ένα χώρο δράσης, το μαγνητικό πεδίο. Η ερευνήτρια συγκεκριμενοποιεί τη στρατηγική του αναλογικού συλλογισμού.

E: Δηλαδή ο μαγνήτης ασκεί μια δύναμη από απόσταση, δεν χρειάζεται να ακουμπήσει απαραίτητα επάνω στο αυτοκίνητο. Ωραία. Έχοντας λοιπόν στο μυαλό σας αυτό το συμπέρασμα που βγάλαμε για τους μαγνήτες... να το χρησιμοποιήσετε για να προσπαθήσετε να εξηγήσετε γιατί τα σώματα κινούνται προς τα κάτω.

Η πρώτη επαφή των παιδιών με την αναλογία είναι τελείως ανοιχτή. Η ερευνήτρια υποδεικνύει απλώς στους μαθητές να χρησιμοποιήσουν την ιδιότητα των μαγνητών να έλκουν, χωρίς καμία ιδιαίτερη επικέντρωση. Αυτό το ανοιχτό περιβάλλον οδηγεί τη μαθήτρια στη διατύπωση του συλλογισμού, ότι τα σώματα πέφτουν γιατί τα έλκει ο μαγνήτης-Γη. Η ερευνήτρια προκαλεί γνωστική αποσταθεροποίηση στη σκέψη της μαθήτριας, εκμεταλλευόμενη τη γνώση της ότι οι μαγνήτες έλκουν μόνο τα σιδερένια αντικείμενα.

E: Αν η Γη τραβάει τα σώματα γιατί είναι μαγνήτης ...

M₁: Θα τράβαγε μόνο τα σιδερένια (με τόνο απογοήτευσης στη φωνή της).

Η απόρριψη αυτής της εξήγησης ενεργοποιεί τις αρχικές παραστάσεις των μαθητών.

- Η ερευνήτρια επιχειρεί να κάνει πιο συγκεκριμένο το δρόμο που πρέπει να ακολουθήσει η σκέψη των παιδιών, στοχεύοντας στην οικοδόμηση του εξής αναλογικού συλλογισμού: όπως το σιδερένιο αυτοκινητάκι κατευθύνεται προς το μαγνήτη γιατί έλκεται από αυτόν, έτσι και τα σώματα κατευθύνονται προς τη Γη

γιατί έλκονται από αυτή. Βοηθάει τους μαθητές να εστιάσουν στην κατεύθυνση κίνησης του αυτοκινήτου προς το μαγνήτη και του σώματος προς τη Γη.

Η ερευνήτρια έχοντας ως στόχο πλέον οι μαθητές να αποδώσουν, καταρχάς, την πτώση των σωμάτων στη δράση μιας δύναμης, περιορίζει την έννοια της δύναμης σε αυτή της αιτίας που θέτει τα σώματα σε κίνηση.

E: Συνήθως, όχι συνήθως, όταν ας πούμε ασκείται σε κάποιο σώμα μια δύναμη από κάποιον αλλού, το σώμα κινείται προς το σώμα που άσκησε τη δύναμη, έτσι δεν είναι; Εδώ, το αυτοκίνητο είναι ακίνητο πάνω στο τραπέζι. Πλησιάζω το μαγνήτη και πείτε τι συμβαίνει, πείτε το αυτό εσείς.

M₂: Ο μαγνήτης έλκει το αυτοκίνητο.

E: Ωραία, βάλτε μέσα τη λέξη δύναμη.

M₂: Ασκείται μια δύναμη πάνω στο αυτοκίνητο.

E: Από πού;

M₂ και M₁: Από το μαγνήτη.

E: Και προς τα πού κινείται το αυτοκίνητο;

M₂: Προς το μαγνήτη.

E: Δηλαδή προς το σώμα που άσκησε τη δύναμη.

M₁: E, ναι. Άρα για να πέφτει προς τη Γη, η Γη ασκεί δύναμη.

Η ερευνήτρια απομακρύνεται από το εννοιολογικό πλαίσιο της επιστήμης και πλησιάζει περισσότερο σε αυτό του παιδιού, συσχετίζοντας την κατεύθυνση κίνησης του σώματος με την κατεύθυνση της δύναμης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επικέντρωση της συζήτησης στην έννοια της δύναμης και στη σύνδεση της κατεύθυνσης της κίνησης με την κατεύθυνση της δύναμης δεν ήταν προγραμματισμένη.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τουλάχιστον η μαθήτρια οδηγείται προοδευτικά, μέσα από τη συνεχή αλληλεπίδραση, σε ένα πέρασμα από μια εξωτερική σε μια εσωτερική ρύθμιση. Αυτό γίνεται φανερό όταν η μαθήτρια διατυπώνει το συλλογισμό: «Άρα για να πέφτει προς τη Γη, η Γη ασκεί δύναμη», χωρίς ιδιαίτερη προτροπή.

Η ολοκλήρωση των γνώσεων σχετικά με την ελκτική δύναμη της Γης απαιτεί την παροχή κάποιων στοιχείων, που οι μαθητές δεν μπορούν να οικοδομήσουν και για τα οποία η ερευνήτρια πληροφορεί τους μαθητές, όπως ότι αυτή η δύναμη λέγεται βάρος και οφείλεται στη μάζα της Γης.

Η ερευνήτρια, στη συνέχεια, εκμεταλλευόμενη τις απαντήσεις των μαθητών, προσπαθεί να ελέγξει την κατάκτηση ή μη μιας κοινής αναφοράς, να αξιολογήσει το βαθμό επίτευξης των επιδιωκόμενων γνωστικών μετασχηματισμών, ρωτώντας τους τη σημασία που αποδίδουν πλέον στη λέξη βάρος.

Ο μαθητής M_2 , με τη βοήθεια της ερευνήτριας, απαντά ότι «το βάρος είναι μια δύναμη που ... την ασκεί η Γη» ενώ για τη μαθήτρια M_1 «τα σώματα πέφτουν γιατί τα ασκεί η γη».

Διαπιστώνουμε ότι οι απαντήσεις που δίνουν οι μαθητές εντάσσονται πλέον σε ένα καινούργιο εννοιολογικό πλαίσιο, παρόλο που δεν εκφράζονται ακόμα με ιδιαίτερη άνεση και με πληρότητα.

Η πιθανότητα της ενεργοποίησης του μηχανισμού της μίμησης σε αυτή τη φάση είναι αρκετά μεγάλη, γεγονός όμως που μπορεί να θεωρηθεί ενδεικτικό της κατανόησης, γιατί «το παιδί μπορεί να μιμηθεί μόνον ό,τι βρίσκεται στη ζώνη των δικών του νοητικών λειτουργιών» (Vygotski, 1993 : 292). Στο τέλος της διδακτικής παρέμβασης, ο μαθητής M_2 είναι σε θέση πλέον να δώσει την παρακάτω ολοκληρωμένη απάντηση: «Λοιπόν το βάρος είναι η δύναμη που ασκεί η Γη σε κάθε σώμα»

Η ερευνήτρια δεν περιορίζεται στην παραπάνω μορφή αξιολόγησης. Διατυπώνει και ερωτήσεις οι οποίες μπορούν αφενός, να την πληροφορήσουν για την πρόοδο των συλλογισμών που μπορούν να κάνουν τα παιδιά και να λειτουργήσουν ως εργαλείο ελέγχου για τη μετακίνηση τους προς το καινούργιο εννοιολογικό πλαίσιο και αφετέρου, επιτρέπουν στα παιδιά να συνειδητοποιήσουν τη μαθησιακή τους εξέλιξη και να εκτιμήσουν την αξία της καινούργιας γνώσης, η οποία τους δίνει τη δυνατότητα να εξηγούν φαινόμενα που δεν μπορούσαν πριν να ερμηνεύσουν, όπως αυτό της συγκράτησης των αντικειμένων επάνω στην επιφάνεια της Γης ή να είναι πλέον σε θέση να κάνουν προβλέψεις σύμφωνες με το επιστημονικό μοντέλο. Τα παραπάνω καταδεικνύουν στα παιδιά ότι η καινούργια γνώση είναι παραγωγικότερη, γεγονός που συμβάλλει στην επιπλέον αποδοχή της, άρα και στην ενίσχυση και διατήρηση της.

E: Αν η Γη δεν τραβάει, ας πούμε, για κάποιο λόγο κάποιο σώμα, έτσι; το σώμα αυτό θα πέσει;

Και οι δυο μαθητές απαντούν χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία ότι το σώμα «θα μείνει εκεί που είναι»

Επίσης, τους ζητά να κάνουν χρήση του αναλογικού συλλογισμού και στην παρακάτω περίπτωση.

E: Ο μαγνήτης τραβάει το σιδερένιο αντικείμενο από μακριά, όπως είπαμε, και το σιδερένιο αυτό αντικείμενο, το αυτοκινητάκι τώρα στην προκειμένη περίπτωση, κολλάει πάνω στο μαγνήτη. Ποιο είναι το αντίστοιχο που θα μπορούσαμε να σκεφτούμε για την περίπτωση της Γης;

Και εδώ, οι μαθητές καταφέρνουν να βρουν το ανάλογο στην περίπτωση της Γης.

M₁: Ότι πέφτει μένει εκεί. Πρέπει εμείς να το πιάσουμε, να το ξανασηκώσουμε, όπως και το αυτοκινητάκι πρέπει να το τραβήξουμε για να φύγει από το μαγνήτη, δεν ξεκολλάει μόνο του.

Οι δυο μαθητές κατάφεραν, μέσω του αναλογικού συλλογισμού ότι η Γη έλκει τα σώματα όπως οι μαγνήτες τα σιδερένια αντικείμενα, να μετακινηθούν από την αρχική νοητική παράσταση του βάρους ως ιδιότητας σώματος σε αυτήν της ελκτικής δύναμης, να οικοδομήσουν μια καινούργια γνώση η οποία εντάσσεται στο πλαίσιο της επιστήμης και είναι παραγωγικότερη της προηγούμενης, όπως φάνηκε από τα παραπάνω αποσπάσματα.

Διαφοροποίηση της δύναμης επαφής και της δύναμης από απόσταση

Το πρώτο έργο ολοκληρώνεται με την προσπάθεια της ερευνήτριας να συνειδητοποιήσουν οι μαθητές ότι η δύναμη του βάρους είναι δύναμη που δρα από απόσταση.

Η ερευνήτρια, ακολουθώντας τις εκ των προτέρων επιλογές που είχαν γίνει στη φάση της σχεδίασης των έργων, αποφεύγει να θέτει ερωτήματα σχετικά με το πώς αντιλαμβάνονται τα παιδιά τη μεταφορά της δράσης από τη Γη στο σώμα. Η έμφαση στη βασική ιδιότητα της δράσης της δύναμης από απόσταση δίνεται με τη διάκριση μεταξύ μιας δύναμης από απόσταση, όπως το βάρος, και μιας δύναμης που δρα με επαφή. Εφόσον στη διδακτική παρέμβαση χρησιμοποιείται ως διδακτική στρατηγική αυτή του αναλογικού συλλογισμού, η ερευνήτρια επιδιώκει αυτή τη διάκριση να γίνει κατανοητή πρώτα μεταξύ της μαγνητικής δύναμης και μιας δύναμης από επαφή και στη συνέχεια, κατ' αναλογία, οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν αυτήν την ομοιότητα της δύναμης του βάρους με τη μαγνητική δύναμη.

Ζητά λοιπόν από τους μαθητές να εξηγήσουν πώς κινείται το αυτοκινητάκι.

M₂: E, αφού το τραβάει ο μαγνήτης.

E: Μάλιστα, το τραβάει ο μαγνήτης. Πως το τραβάει ο μαγνήτης;

M₁: E, ο μαγνήτης έλκει όλα τα σιδερένια αντικείμενα.

E: Ναι, δηλαδή το ακουμπά;

M₁ και M₂: Όχι

M₁: Μπορεί να το τραβάει από μακριά.

M₂: Ο μαγνήτης έχει ένα μαγνητικό πεδίο που...

Η ερώτηση της ερευνήτριας, εάν ο μαγνήτης ακουμπά το αυτοκινητάκι, βοηθά τους μαθητές να εκφράσουν αυτό που εννοούν με το ρήμα έλκω και ενεργοποιεί τις γνώσεις που έχουν οι μαθητές για το μαγνητικό πεδίο. Επίσης καθιστά το ερώτημα «Πώς ο μαγνήτης τραβά το αυτοκινητάκι;» πιο συγκεκριμένο, εστιάζοντας την προσοχή των παιδιών στην ύπαρξη ή μη επαφής του σώματος που ασκεί τη δύναμη με το σώμα που δέχεται τη δύναμη.

Στη συνέχεια, η ερευνήτρια προχωράει στην ανάδειξη της διάκρισης της δύναμης από απόσταση και της δύναμης από επαφή και τους ρωτά εάν υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος που θα μπορούσε να κινήσει το αυτοκίνητο και οι μαθητές απαντούν ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει τα χέρια της.

E: Σε τι διαφέρει η δύναμη που βάζω με το χέρι μου από τη δύναμη που ασκεί ο μαγνήτης;

M₂: Εμείς δεν το έλκουμε με το χέρι μας.

E: Γιατί; προς τη μεριά σου δεν μπορείς να το τραβήξεις;

M₁: Ναι, αλλά εμείς πρέπει να το ακουμπήσουμε...

M₂: Εμείς πρέπει να το ακουμπήσουμε, ναι.

M₁: ...ο μαγνήτης από μακριά

M₂: Ο μαγνήτης από μακριά μπορεί.

M₁: ...ασκεί δύναμη.

E: Α, μάλιστα. Άρα λοιπόν ο μαγνήτης ασκεί μια δύναμη από μακριά...

M₂: ...ενώ εμείς πρέπει να το ακουμπήσουμε.

Η οικοδόμηση της έννοιας του βάρους ως δύναμης που δρα από απόσταση στη συνέχεια γίνεται με ιδιαίτερη ευκολία, έχοντας ήδη βέβαια μεσολαβήσει αρκετά επεισόδια που στόχευαν στην οικοδόμηση της έννοιας του βάρους ως δύναμης, όπως αναφέραμε στη προηγούμενη προσπάθεια συγκρότησης της έννοιας.

E: Έχει η Γη μια ιδιότητα, όπως την έχει και ο μαγνήτης...

M₁: Να τραβάει;

E: ...να τραβάει τα σώματα και μάλιστα σε τι μοιάζει αυτή η δύναμη, που ασκεί η Γη επάνω στα σώματα, με τη δύναμη που ασκεί ο μαγνήτης επάνω στα σιδερένια αντικείμενα;

M₁: Ότι το τραβάει χωρίς να το ακουμπήσει.

E: Τι λες Στέφανε, μοιάζουν σε αυτό;

M₂: Με το μαγνήτη; Ναι. Μάλλον και η Γη έχει ένα μαγνητικό πεδίο.

M₁: Κάτι σαν

E: Κάτι σαν, έχει κάτι σαν το μαγνητικό πεδίο της Γης, συγγνώμη...

M₁: ...του μαγνήτη.

Η παρέμβαση της ερευνήτριας «Έχει η Γη μια ιδιότητα, όπως την έχει και ο μαγνήτης» ενεργοποιεί τον αναλογικό συλλογισμό στη μαθήτρια, η οποία χωρίς καμία δυσκολία απαντά ότι η Γη τραβά τα σώματα χωρίς να τα ακουμπά. Παρατηρούμε δε, ότι η ενεργοποίηση του αναλογικού συλλογισμού οδηγεί το μαθητή στην παραγωγή καινούργιων εννοιών, όπως αυτής του πεδίου που δημιουργεί η Γη γύρω από αυτή.

Το βάρος είναι μια δύναμη που κατευθύνεται πάντοτε προς τη Γη – Η έννοια του «κάτω»

Στην συνέχεια η ερευνήτρια προχώρησε στην εκτέλεση του δεύτερου έργου, στο οποίο επιχειρείται συγχρόνως η διαδικασία συγκρότησης δύο εννοιών, αυτής της κατεύθυνσης της δύναμης του βάρους προς τη Γη και αυτής της έννοιας του «κάτω». Η κοινή παρουσίαση οφείλεται αφενός στην άμεση σύνδεση ή καλύτερα στην ταύτιση των δύο εννοιών και αφετέρου στα κοινά στοιχεία που εμφανίστηκαν σε αυτές τις δύο έννοιες κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης.

Η ερευνήτρια ξεκινάει το δεύτερο έργο ακολουθώντας την παιδαγωγική στρατηγική που παρουσιάστηκε στο κομμάτι της μεθοδολογίας, δηλαδή ζητά από τους μαθητές να προβλέψουν προς τα πού θα κινηθεί ένας μετεωρίτης, όταν αυτός πέσει στην Αυστραλία ή προς τα πού θα κινηθεί ένα στυλό, όταν αυτό το αφήσουμε στην Αυστραλία. Οι απαντήσεις των παιδιών είναι:

M₁: Προς τα κάτω.

E: Δηλαδή πού θα πέσει;

M₂: Πάνω στην Αυστραλία. Στη Γη.

M₁: Στη Γη, ναι.

.....
E: Αν αφήσουμε ή ένας Αυστραλός, ο οποίος παίρνει το στυλό, καλή ώρα όπως εμείς και το αφήνει

M₁: Ναι, θα πέσει.

M₂: Θα πέσει.

E: Τι εννοείτε όταν λέμε ότι θα πέσει; Προς τα πού θα πέσει;

M₁: Προς τη Γη. (απαντά ταυτόχρονα και ο M₂)

E: Τι εννοούμε όταν λέμε ότι τα σώματα πέφτουν προς τα κάτω; Προς τα πού πέφτουν δηλαδή;

M₂ και M₁ : Προς τη Γη.

Όπως παρατηρούμε οι προβλέψεις των μαθητών είναι σύμφωνες με το επιστημονικό εννοιολογικό πλαίσιο, γεγονός που δεν συμφωνεί με τις απαντήσεις που είχαν δώσει οι μαθητές στο προ-τεστ, όπου όταν τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν προς τα πού θα κινηθεί μια πέτρα, όταν αυτή αφεθεί σε διάφορους τόπους σε σχέση με τη Γη (ερώτηση 2), σχεδίασαν γραμμές παράλληλες, κάθετες στις γραμμές του χαρτιού σχεδίασης με φορά προς το κάτω μέρος της σελίδας. Αυτή η ασυμφωνία φανερώνει ότι η κατεύθυνση της πτώσης των σωμάτων, καθώς και η έννοια του "κάτω" χαρακτηρίζονται από κάποιο βαθμό σύγχυσης στη σκέψη των μαθητών. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα η ερευνήτρια να ακολουθήσει τα βήματα της παιδαγωγικής στρατηγικής που είχαν αποφασισθεί στη φάση σχεδίασης των έργων, επιδιώκοντας πλέον την ενίσχυση και συνειδητοποίηση των σωστών προβλέψεων των μαθητών. Η ερευνήτρια τους κοινοποιεί το λόγο που θα προβεί στη χρήση των μαγνητών, καθιστώντας τους συνεργούς στην όλη διαδικασία.

E: Για να καταλάβετε λίγο καλύτερα τι σημαίνει αυτό που είπατε προηγουμένως, ότι τα σώματα πέφτουν προς τα κάτω, δηλαδή προς τη Γη, θα χρησιμοποιήσουμε πάλι τους μαγνήτες για βοήθεια.

Αυτή η κοινοποίηση επαναλαμβάνεται και μετά τη χρήση των μαγνητών, όπου οι μαθητές παρατηρούν ότι ένας συνδετήρας, από όποια θέση και να αφεθεί, κινείται πάντα προς το μαγνήτη.

E: Ωραία. Άρα λοιπόν τι αντίστοιχο θα μπορούσαμε να πούμε με μεγαλύτερη σιγουριά πια;

M₂: Η Γη τραβάει το μετεωρίτη...

E: Η Γη τραβάει το μετεωρίτη και τον κατευθύνει προς τα πού;

M₁: Προς το μέρος της.

Οι παραπάνω διάλογοι δείχνουν ότι οι μαθητές αποδέχονται την ταύτιση της έκφρασης «το σώμα κινείται προς τη Γη» με αυτή «το σώμα κινείται προς τα κάτω».

Το βάρος μεταβάλλεται με τη μεταβολή της απόστασης του σώματος από τη Γη

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, το τρίτο έργο επιδιώκει την επίτευξη του τρίτου γνωστικού στόχου, δηλαδή ότι το μέτρο της δύναμης του βάρους μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται η απόσταση του σώματος από τη Γη.

Ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν εάν η δύναμη με την οποία η Γη έλκει ένα σώμα, θα μεταβληθεί εάν αυξήσουμε την απόσταση του σώματος από αυτή. Στη συνέχεια, αυξάνουμε την απόσταση ενός συνδετήρα από ένα μαγνήτη και ζητούμε από τους μαθητές να παρατηρήσουν αυτό που συμβαίνει. Κατόπιν επαναλαμβάνουμε το αρχικό ερώτημα σχετικά με το σώμα.

Στο πρώτο ερώτημα που αφορά στη μεταβολή του βάρους, οι μαθητές απαντούν ότι το βάρος «θα μείνει το ίδιο» ανεξάρτητα από τη μεταβολή της απόστασης του από τη Γη. Η ερευνήτρια προτρέπει τα παιδιά να χρησιμοποιήσουν το αναλογικό μοντέλο των μαγνητών.

M₁: Εδώ διαφέρει όμως, γιατί ο μαγνήτης..., αν το πας πολύ μακριά και δεν είναι στο μαγνητικό του πεδίο (εννοεί το αυτοκινητάκι) δεν το τραβάει.

Η προτροπή της ερευνήτριας για χρήση του αναλογικού συλλογισμού προκαλεί την επικέντρωση της προσοχής της μαθήτριας σε σημεία που, τουλάχιστον με βάση τα αντιληπτικά δεδομένα, η αναλογία μοιάζει να μη λειτουργεί. Η μαθήτρια εστιάζει ουσιαστικά σε δυο περιπτώσεις σχετικά με τους μαγνήτες, δηλαδή ότι ένα σιδερένιο αντικείμενο ή θα έλκεται από το μαγνήτη ή δεν θα έλκεται στην περίπτωση που αυτό δεν βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη. Τα ορατά όρια του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη της επιτρέπουν να αντιληφθεί ότι ένας μαγνήτης είναι δυνατόν να μην έλκει ένα σιδερένιο αντικείμενο, κάτι που θα μπορούσε να αντιληφθεί σχετικά με τη Γη, ούτως ή άλλως μόνο νοητικά.

Η ερευνήτρια θέλοντας να επικεντρώσει στη μεταβολή του μέτρου της δύναμης του βάρους, επιδιώκει να κάνει πιο συγκεκριμένο τον αναλογικό συλλογισμό.

E: Αυτή η δύναμη όμως που ασκεί ο μαγνήτης, μεταβάλλεται καθόλου, αλλάζει καθώς εγώ απομακρύνω το μαγνήτη από το αυτοκίνητο;

M₁: Ναι.

E: Τι κάνει αυτή η δύναμη;

M₁: Μικραίνει.

.....

M₁: Όσο πιο μακριά, τόσο πιο μικρή.

E: Για σκεφτείτε τώρα, τι θα μπορούσε να πει κανείς αντίστοιχα για τη δύναμη που ασκεί η Γη στα σώματα.

M₂: Δεν ξέρω.

M₁: Μα στη Γη, από όπου και να το αφήσουμε πέφτει κάτω

.....

M₁: ...ενώ ο μαγνήτης αν φύγει δεν τα τραβάει πια, αν είναι πολύ μακριά.

Ο περιορισμός της σκέψης της μαθήτριας από τα αντιληπτικά δεδομένα εμποδίζει τη λειτουργία του αναλογικού συλλογισμού. Η ερευνήτρια προσφεύγει στη φαντασία, οδηγεί νοητικά τους μαθητές σε περιοχές που απέχουν μεγάλη απόσταση από τη Γη.

E: Αν λοιπόν φανταστούμε και εμείς αυτό το πολύ μακριά για τα σώματα. Δηλαδή το πολύ μακριά όμως, να είναι όντως πολύ μακριά... δεν εννοώ να το απομακρύνω κατά πέντε ή δέκα πέντε μέτρα, αλλά κατά χιλιόμετρα.

M₁: Στο διάστημα.

E: Ναι, και καθώς το απομακρύνω.

M₂: Γίνεται όλο και πιο μικρή...

E: Τι γίνεται όλο και πιο μικρή;

M₁: Η δύναμη.

M₂: Η δύναμη που ασκεί η Γη...

M₁: Μικραίνει, αλλά και πάλι θα το τραβήξει.

M₂: Αλλά και πάλι θα το τραβήξει, απλά μικραίνει λίγο η δύναμη.

Η επικέντρωση στην ιδιότητα της μαγνητικής δύναμης να ελαττώνεται όταν το σιδερένιο σώμα απομακρύνεται από το μαγνήτη βοήθησε τελικά τους μαθητές να αντιληφθούν ότι η δύναμη που ασκεί η Γη στα σώματα μικραίνει, καθώς αυτά απομακρύνονται από τη Γη, επιμένοντας όμως ταυτόχρονα ότι η Γη θα τραβά πάντα τα σώματα προς το μέρος της.

Η έννοια του βαρυτικού πεδίου ως χώρος άσκησης δυνάμεων και τα όριά του

Όπως αναφέρεται και στο κομμάτι της μεθοδολογίας, η έννοια του βαρυτικού πεδίου, δεν υπήρχε στον αρχικό σχεδιασμό των έργων της διδακτικής παρέμβασης. Όμως ή εισαγωγή αυτής της έννοιας από το μαθητή κατά τη διάρκεια του πρώτου έργου και η δυσκολία ιδιαίτερα της μαθήτριας να αντιληφθεί ότι είναι δυνατόν η Γη να μην έλκει τα σώματα οδηγούν την ερευνήτρια να προχωρήσει τη συζήτηση γύρω από αυτήν την έννοια.

E: ...Μήπως υπάρχει περίπτωση καθώς το απομακρύνω, να το απομακρύνω σε τόση μεγάλη απόσταση, που τελικά να μη το τραβάει καθόλου η Γη;

M₂: Ναι, υπάρχει περίπτωση.

E: Μας θυμίζει κάτι άλλο αντίστοιχο από τους μαγνήτες αυτό;

M₂: ... η Γη έχει κάτι σαν μαγνητικό πεδίο που μπορεί να τραβήξει κάτι ανάλογα με την απόσταση από το σώμα.

M₁: Αλλά είναι πολύ πιο μεγάλο.

E: Ναι, αλλά τι είπες Χριστίνα;

M₁: Ότι αυτό το κάτι σαν μαγνητικό πεδίο, εεε πώς να το πω ακριβώς, είναι πιο μεγάλο από του μαγνήτη, κρατάει πιο πολύ.

M₁: Αυτό πάει εκεί και δεν το τραβάει πια (εννοεί το αυτοκινητάκι).

E: Ναι, μια και το είπατε, θα σας πω ότι όντως υπάρχει ένα τέτοιο πεδίο...

M₁: Πώς το λένε;

E: ...με τη διαφορά ότι δεν το λένε μαγνητικό, γιατί είπαμε ότι η Γη δεν είναι μαγνήτης, το λέμε βαρυτικό.

M₁: Α, φυσιολογικό.

Οι μαθητές αντιλαμβάνονται την έννοια του βαρυτικού πεδίου, όπως φαίνεται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Η εξοικείωση των μαθητών με τον αναλογικό τρόπο σκέψης τους οδηγεί να εισάγουν εκείνοι καινούργιες έννοιες και να επεκτείνουν το χώρο εφαρμογής της αναλογίας. Όπως σημειώνουν οι Glynn et al. (1995), η επιτυχής αναλογία εισάγει καινούργιες ιδέες με όρους ήδη οικείους στους μαθητές.

Η ερευνήτρια ωθεί τη μαθήτρια να επαναλάβει αυτό που είπε σχετικά με τη διαφορά του μεγέθους του βαρυτικού πεδίου και του μαγνητικού πεδίου έτσι ώστε να συμβάλει σε μια από κοινού οικοδόμηση. Όμως, παρόλο που η έννοια του βαρυτικού

πεδίου γίνεται εύκολα αντιληπτή, αυτό στο οποίο συνεχίζει να υπάρχει ιδιαίτερη δυσκολία είναι τα όρια του. Αυτή η δυσκολία αναδεικνύεται και στη συνέχεια της συζήτησης, όμως η ερευνήτρια επιλέγει αρχικά να την αγνοήσει και να προχωρήσει παρακάτω

Όταν, όμως, αυτή η δυσκολία αποτελεί πλέον γνωστικό εμπόδιο για την ολοκλήρωση του τέταρτου έργου που σχετίζεται με την ανάδειξη των διαφορών μεταξύ της μαγνητικής δύναμης και του βάρους, η ερευνήτρια αναγκάζεται να συζητήσει εκτενέστερα πλέον αυτό το θέμα.

M₁: Ας πούμε η μαγνητική δύναμη, όταν απομακρυνθεί από το μαγνητικό πεδίο, το αντikeίμενο από το μαγνητικό πεδίο δεν το τραβάει πια, ενώ στη Γη μπορεί να μικραίνει, αλλά πάντοτε κινούνται προς αυτή τα σώματα.

E: Συμφωνείς Στέφανε;

M₂: Όχι. Αυτό είναι κοινό μαζί με το μαγνήτη και τη Γη, γιατί αν είναι πιο μακριά από βαρυτικό ή το μαγνητικό πεδίο, τότε δεν θα μπορέσει να το τραβήξει. Δεν πάει πάντα προς το μέρος της.

Η ερευνήτρια προσπαθώντας να αισθητοποιήσει τα όρια του βαρυτικού πεδίου, αφήνει το εννοιολογικό πλαίσιο της επιστήμης. Υποστηρίζει ότι αν αφήσουμε ένα σώμα από τόσο ύψος όσο απέχει η Σελήνη από τη Γη, το σώμα δεν θα πέσει, κάτι που σαφώς δεν ισχύει. Σε αυτήν την περίπτωση η μαθήτρια δείχνει να αρχίζει να αποδέχεται τα όρια του βαρυτικού πεδίου απαντώντας:

M₁: E, καλά εντάξει. Σε μια τόσο τεράστια απόσταση δεν το τραβάει.

Η ερευνήτρια εστιάζει στα πεπερασμένα όρια της δράσης της δύναμης του βάρους, σε αντίθεση με το Νευτωνικό πλαίσιο, σύμφωνα με το οποίο η εμβέλεια του βάρους είναι άπειρη. Η παρέκκλιση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι επιδιώκει την εισαγωγή της έννοιας του βαρυτικού πεδίου σε αναλογία με το μαγνητικό, το οποίο σύμφωνα με αυτά που γνωρίζουν οι μαθητές από τα πλαίσια της τυπικής τους εκπαίδευσης έχει περιορισμένα όρια δράσης.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η χρήση του αναλογικού συλλογισμού ώθησε τους μαθητές να εισάγουν την έννοια του βαρυτικού πεδίου όμως δεν λειτούργησε στην κατανόηση των ορίων που αυτό έχει. Ο περιορισμός της σκέψης, ειδικά, της μαθήτριας από τα αντιληπτικά δεδομένα αντιμετωπίστηκε όχι μέσω του αναλογικού συλλογισμού αλλά μέσω της επιλογής της ερευνήτριας να απομακρυνθεί από το εννοιολογικό πλαίσιο της επιστήμης και να ενταχθεί σε αυτό των παιδιών, όπως φάνηκε από τις εκπώσεις που έκανε στην επιστημονική ισχύ των λεγόμενων της.

Ανάδειξη των αρνητικών αναλογιών και εφαρμογή σε σχετικά φαινόμενα

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η επιτυχής εφαρμογή του αναλογικού συλλογισμού προϋποθέτει την ανάδειξη των ορίων της αναλογίας για την αποφυγή παρανοήσεων εκ μέρους των μαθητών. Έτσι λοιπόν για την αποφυγή ταύτισης της δύναμης του βάρους με αυτή της μαγνητικής δύναμης, μετά από τη σύνοψη των θετικών αναλογιών, η ερευνήτρια προχώρησε στην εκτέλεση του τέταρτου έργου, επικεντρώνοντας τη συζήτηση στην ανάδειξη των αρνητικών αναλογιών. Οι μαθητές με σχετική ευκολία εντόπισαν τις διαφορές των δυνάμεων, όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα:

E: Ας ψάξουμε λίγο να βρούμε μήπως υπάρχουν σημεία που διαφέρουν.

M₂: Μήπως τραβάει όλα τα σώματα (εννοεί η Γη), ενώ ο μαγνήτης τραβάει μόνο τα σιδερένια.

E: Μπράβο σας. Αυτή είναι μια διαφορά.

E: Η Γη είπαμε ασκεί ελκτικές δυνάμεις επάνω σε όλα τα σώματα. Ένας μαγνήτης μονάχα έλκει; Δηλαδή ασκεί μόνο ελκτικές δυνάμεις;

M₁: Όχι, κρατάει κιόλας αντικείμενα.

M₂: Ναι, ναι.

E: Δηλαδή τα συγκρατεί τα σώματα, τα έλκει.

M₁: Ναι

E: Δεν ξέρουμε κάποια περίπτωση που ο μαγνήτης μπορεί να σπρώξει μακριά, να απωθήσει;

M₂: Όχι, δεν γίνεται αυτό...

M₁: Ναι, με άλλο μαγνήτη, με ίδιους πόλους

E: Έτσι, έτσι δεν είναι Στέφανε;

M₂: Απωθούνται όταν οι μαγνήτες...

M₁: Όταν έχουν ίδιους πόλους.

M₂: Δεν το κατάλαβα πολύ καλά αυτό.

E: Ωραία, θα το συζητήσουμε. Για βοήθησε λίγο Χριστίνα.

M₁: Έχουμε δυο μαγνήτες και ο κάθε μαγνήτης έχει το νότιο και το βόρειο πόλο. Αν και οι δύο μαγνήτες, ε, αν έχουμε από τον ένα μαγνήτη το βόρειο και από τον άλλον το νότιο έλκονται. Ενώ αν έχουμε από τον ένα τον νότιο και από τον άλλο τον νότιο απωθούνται, δεν μπορούν να κολλήσουν.

E: Τι λες Στέφανε;

M₁: Έτσι το σπρώχνει το άλλο αντικείμενο.

M₂: Το ξέρω αυτό...

M₁: Ε, τότε τι δεν κατάλαβες;

E: Άρα λοιπόν ένας μαγνήτης δεν μπορεί να απωθήσει ένα άλλο μαγνήτη;

M₂: Ναι, εγώ νόμιζα να απωθήσει ένα άλλο σώμα.

E: Ένα άλλο σιδερένιο σώμα εννοείς, όχι. Ο μαγνήτης είναι αλήθεια ότι μπορεί να απωθήσει μόνο έναν άλλο μαγνήτη. Μπορεί όμως να ασκήσει απωστική δύναμη, έστω και σε έναν άλλο μαγνήτη.

M₂: Η Γη όμως δεν μπορεί να απωθήσει.

M₁: Στα άλλα αντικείμενα, όμως όχι σιδερένια δεν τα σπρώχνει. Απλά δεν κάνει τίποτε

Τέλος, η ερευνήτρια επιδιώκοντας την εδραίωση της καινούργιας γνώσης και την ανάδειξη της επάρκειας της για την εξήγηση φαινομένων που μέχρι πρότινος έμοιαζαν ασύνδετα μεταξύ τους, προχωρά στην εκτέλεση του πέμπτου έργου και ζητά από τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν τις καινούργιες γνώσεις που οικοδόμησαν για την ερμηνεία φαινομένων όπου η δράση του βάρους δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή, όπως η κίνηση σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο, η κίνηση του εκκρεμούς, η πτώση των φύλων.

E: Λοιπόν για να δούμε τώρα κάτι άλλο. Έχω αυτό εδώ το βιβλίο, το οποίο το ανασηκώω λίγο και του δίνω μια κλίση και αφήνω εδώ πάνω το κουτάκι αυτό. Εντάξει;

(Αφήνουμε ένα μικρό κουτί στη κορυφή του κεκλιμένου επιπέδου που δημιουργήσαμε με το βιβλίο και κινείται προς τα κάτω)

Πώς εξηγείτε αυτή την κίνηση της κασέτας, του κουτιού της κασέτας;

M₁: Ε, πώς γίνεται.

M₂: Ε και πάλι η Γη το ασκεί αυτό.

M₁: Του ασκεί το βάρος

M₂: Δεν υπάρχει καμία διαφορά στο βάρος.

M₁: Δεν μπορεί να σταθεί εκεί πάνω, γιατί του ασκεί αυτή τη δύναμη και

M₂: Ναι

E: Μάλιστα. Μήπως μπορείτε να μου πείτε γιατί άραγε να πέφτουν τα φύλλα των δέντρων, όταν ας πούμε ξεραίνονται;

M₂: Επειδή η Γη τα τραβάει.

.....
M₁: E, πάλι το ίδιο.

M₂: Άρα τα τραβάει. Είπαμε όλα τα σώματα τα τραβάει

E: Και εάν πάρω αυτό εδώ το σχοινάκι, στο οποίο έχω κρεμάσει στην άκρη του ένα βαρίδι, έτσι;

M₁: Ναι

E: Και τα ανασηκώσω λιγάκι και το αφήσω ελεύθερο

M₂: Ναι

E: Θα κατέβει

M₂: προς τη Γη

E: προς τη Γη. Κατεβαίνει προς τα κάτω σημαίνει κατεβαίνει προς τη Γη, έτσι; Γιατί συμβαίνει αυτό;

M₁: Γιατί πάλι ασκεί βάρος, το τραβάει η Γη.

E: Γιατί το τραβάει η Γη,

M₂: Ναι

E: Έτσι; Μάλιστα. Καταλάβατε τώρα τι είναι το βάρος;

M₂ και M₁: Ναι

E: Τι είναι λοιπόν το βάρος; για πείτε μου.

M₁: Το βάρος...

M₂: Λοιπόν το βάρος είναι η δύναμη που ασκεί η Γη σε κάθε σώμα.

E: Και τι χαρακτηριστικό έχει αυτή η δύναμη; Δηλαδή ακουμπάει τα σώματα η Γη για να τα...;

M₂ και M₁: Όχι

M₂: Έχει και αυτή όπως λέμε ένα βαρυτικό πεδίο, και ανάλογα με την απόσταση που είναι τα τραβάει ή όχι.

E: Χριστίνα

M₁: Συμφωνώ

Από τους παραπάνω διαλόγους φαίνεται ότι οι μαθητές κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν την καινούργια γνώση για την έννοια του βάρους και να ερμηνεύσουν φαινόμενα όπου η δράση του βάρους δεν είναι άμεσα αντιληπτή.

Συμπεράσματα

Η ανάλυση των διαλόγων της διδακτικής παρέμβασης μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρήση των στοιχειωδών μαγνητικών ιδιοτήτων για την ανάπτυξη του αναλογικού συλλογισμού με στόχο την οικοδόμηση ενός πρόδρομου μοντέλου για την έννοια του βάρους ως δύναμης που δρα από απόσταση, επέτρεψε στους μαθητές να επεξεργαστούν τα έργα με δικά τους εννοιολογικά εργαλεία, να προβούν σε προεκτάσεις αποδεκτές στο πλαίσιο της σχολικής επιστήμης, όπως αυτή της έννοιας του βαρυτικού πεδίου και, γενικότερα, να εμπλακούν ενεργά στην όλη διαδικασία κατασκευής της νέας γνώσης. Οι μαθητές μέσα από ένα συνεχές πέρασμα από το γνωστό σύστημα που ήταν οι μαγνητικές δυνάμεις και οι στοιχειώδεις ιδιότητές τους στο σύστημα-στόχος που ήταν το βάρος, έστω και στην πρόδρομη μορφή του, προσέδωσαν στο βάρος την έννοια της δύναμης που δρα από απόσταση.

Λαμβάνοντας υπόψη το περιορισμένο του δείγματος, θεωρούμε απαραίτητη την περαιτέρω διερεύνηση αυτής της διδακτικής πρότασης σε μεγαλύτερο και περισσότερο διαφοροποιημένο δείγμα μαθητών και ιδιαίτερα σε συνθήκες τάξης με στόχο την διδακτική της αξιοποίηση. Επίσης ενδιαφέρον θα είχε και η συγκριτική ανάλυση των τριών διδακτικών παρεμβάσεων που πραγματοποιήσαμε έτσι ώστε να αναδειχθούν πιθανές διαφοροποιήσεις σχετικά με την λειτουργικότητα και αποτελεσματικότητα της διδακτικής πρότασης. Επίσης, η οικοδόμηση της έννοιας του βάρους ως δύναμης απαιτεί και προϋποθέτει τη συναρμογή ενός ευρύτερου συστήματος εννοιών όπως η μάζα ως παράγοντας αλληλεπίδρασης, η ομογενής συμπεριφορά μαζών διαφορετικών διαστάσεων, και από την άποψη αυτή υπάρχει ανάγκη μιας ευρύτερης επεξεργασίας φαινομένων τα οποία θα οδηγούν στην οικοδόμηση συμπληρωματικών πρόδρομων μοντέλων για μεγαλύτερες ηλικίες. Στη συγκεκριμένη, όμως, ερευνητική εργασία, αναδείξαμε όχι μόνο τη δυνατότητα σταδιακής εποικοδομητικής προσέγγισης για την έννοια του βάρους στο Δημοτικό σχολείο, αλλά και την ανάγκη μιας δομημένης διδακτικής παρέμβασης, ανάγκη που συνήθως αμελείται εντελώς από τα παραδοσιακά αναλυτικά προγράμματα και σχολικά εγχειρίδια. Από την άποψη αυτή, θα

ήταν σημαντικό τα σχετικά ευρήματα, αλλά κυρίως η προβληματική να αποτελέσουν αντικείμενο αξιοποίησης από τους μηχανισμούς λήψης και υλοποίησης εκπαιδευτικών αποφάσεων.

Αναφορές

- Bar, V., Zinn, B., Goldmuntz, R. & Sneider, C. (1994). Children's Concepts about Weight and Free Fall, *Science Education*, 78, (2), 149-169.
- Dumas Carré, A. Weil-Barais, A. Ravanis, K. & Shourcheh, F. (2003). Interactions maître-élèves en cours d'activités scientifiques à l'école maternelle : approche comparative, *Bulletin de Psychologie*, 56(4), 493-508.
- Dupin, J.J. & Johsua, S. (1989). Analogies and « Modeling Analogies» in Teaching : Some Examples in Basic Electricity, *Science Education*, 73(2), 207-224.
- Erickson, G. (1994). Pupils' understanding of magnetism in a practical assessment context: The relationship between content, process and progression. In P. Fensham, R. Gunstone. & R. White (eds.), *The Content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*, (pp. 80-97). London: Falmer Press.
- Gentner, D. & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.99-129). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gee, B. (1978). Models as a pedagogical tool: Can we learn from Maxwell? *Physics Education*, 13(5), 287-291.
- Gillispie, C. C. (1994). *Στην κόψη της αλήθειας. Η εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών από το Γαλιλαίο ως τον Einstein*. Αθήνα: Μορφωτικό ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης.
- Glynn, S. M. (1995). Conceptual bridges: Using analogies to explain scientific concepts, *The Science Teacher*, 62 (9), 25-27.
- Glynn, S. M. (1996). Teaching with analogies: Building on the science textbook, *The Reading Teacher*, 49, 490-492.
- Glynn, S. M., Duit, R. & Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 247-273). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hewitt, P. G. (1992). *Οι έννοιες της Φυσικής*. Τόμος II. Ηράκλειο, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Kipnis, N. (2005). Scientific Analogies and their use in Teaching Science, *Science Education*, 14, 199-233.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1997). *Η οικοδόμηση των εννοιών στη Φυσική. Η διδασκαλία της Μηχανικής*. Αθήνα: Εκδόσεις Τυπωθήτω.
- Mayer, R. (1999). *Thinking, problem solving, cognition*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Ripoll, T. (1992). La recherche sur le raisonnement par analogie: Objectifs, difficultés et solutions. *L'Année Psychologique*, 92, 263-288.

- Stead, K. & Osborne, R. (1980). *Gravity*. LISP Working Paper 20, Science Education Research Unit, University of Waikato, New Zealand.
- Vamvakoussis, C. (1984). *Représentations et interprétations sur quelques phénomènes électromagnétiques simples par les élèves de 10 à 14 ans*. Mémoire de DEA, Paris, Université Paris VII.
- Vygotski, L. (1993). *Σκέψη και γλώσσα*. Αθήνα: Εκδόσεις Γνώση.
- Watts, D. M. & Gilbert, J. K. (1985). *Appraising the understanding of science concepts: «Gravity»*. Department of Educational Studies, University of Surrey, Guilford.
- Βουτσινά, Α. & Ραβάνης, Κ. (2007). Ιστορικά μοντέλα και νοητικές παραστάσεις για το μαγνητισμό μαθητών/τριών Λυκείου για το μαγνητισμό. Στο Δ. Κολιόπουλος (επιμ.), *Η πολιτισμική συνιστώσα των φυσικών επιστημών στην εκπαίδευση* (σ. 175-185). Αθήνα: Εκδόσεις Ώθηση.
- Κολιόπουλος, Δ. (2007). *Θέματα Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Η συγκρότηση της Σχολικής Γνώσης*. Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Ραβάνης, Κ. (2003). *Εισαγωγή στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Σκαμάγκα, Κ. (2001). *Ποιοτικές προσεγγίσεις των διδακτικών αλληλεπιδράσεων: Το πρόβλημα της άσκησης δυνάμεων από απόσταση*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΤΕΕΑΠΗ, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Σκαμάγκα, Κ. Ραβάνης, Κ. & Κολιόπουλος, Δ. (2002). Η καθοδήγηση και η διαμεσολάβηση ως στρατηγικές επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης στα πλαίσια των διδακτικών δραστηριοτήτων: η περίπτωση της έννοιας του βάρους. Στο Α. Μαργετουτσάκη & Π. Μιχαηλίδης (επιμ.), *Πρακτικά τρίτου πανελληνίου συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και εφαρμογής των Νέων Τεχνολογιών στην εκπαίδευση* (σ. 264-271). Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.
- Σταυρίδου, Ε. (1995). *Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης*. Αθήνα: Εκδόσεις Σαββάλα.
- Χριστοδουλίδης, Π. (1979). *Η εξήγηση στην επιστήμη και η έννοια του μοντέλου*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Εγνατία.

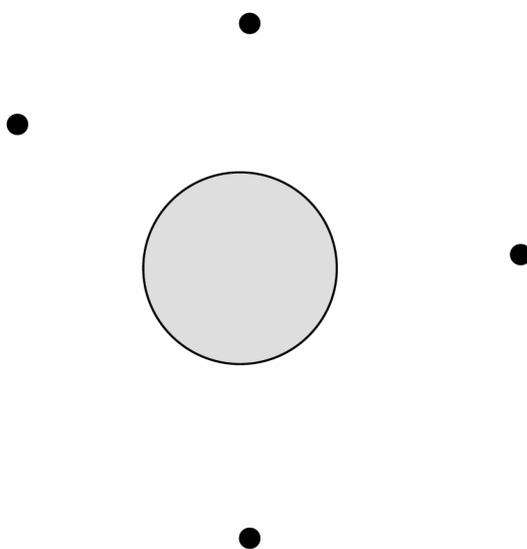
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ερωτηματολόγιο για τους μαγνήτες

1. Υπογράμμισε τα σώματα που μπορεί να τραβήξει ένας μαγνήτης
Οδοντογλυφίδα
Καλαμάκι
Κουτάκι αναψυκτικού
Σιδερένιο κλειδί
Χρυσό βραχιόλι
Ασημένιο δαχτυλίδι
Αιτιολόγησε την απάντησή σου
2. Έχεις δύο μαγνήτες και πλησιάζεις τον πόλο του ενός μαγνήτη στον πόλο του άλλου μαγνήτη. Τι θα παρατηρήσεις;
3. Έχεις ένα μαγνήτη με άγνωστους πόλους. Τι πρέπει να κάνεις για να βρεις ποιος είναι ο βόρειος πόλος και ποιος είναι ο νότιος;
4. Στην άκρη ενός τραπεζιού έχεις βάλει ένα συνδετήρα. Τι μπορείς να κάνεις για να μετακινήσεις το συνδετήρα χωρίς να τον ακουμπήσεις; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.
5. Εάν πλησιάσουμε ένα καρφί σε ένα μαγνήτη, παρατηρούμε ότι ο μαγνήτης έλκει το καρφί. Εάν απομακρύνουμε το καρφί από το μαγνήτη παρατηρούμε ότι ο μαγνήτης δεν έλκει το καρφί. Πώς το εξηγείς;
6. Πώς γίνεται και ο μαγνήτης έλκει ένα καρφί χωρίς να το ακουμπά;

Ερωτηματολόγιο για τη Βαρύτητα

1. Ρίχνουμε μια μπάλα προς τα πάνω. Τι παρατηρείς; Γιατί πέφτει προς τα κάτω;
2. Η μεγάλη σφαίρα δείχνει τη Γη και οι κουκίδες δείχνουν μια πέτρα που την αφήνουμε να πέσει. Έχουμε σχεδιάσει τη πέτρα σε διάφορες θέσεις σε σχέση με τη Γη. Μπορείς να δείξεις με τη βοήθεια ενός βέλους, προς τα πού θα κινηθεί η πέτρα σε κάθε περίπτωση;



3. Ανεβαίνουμε έναν ανηφορικό δρόμο κρατώντας μια βαλίτσα στο χέρι. Κάποια στιγμή, σταματάμε για λίγο για να ξεκουραστούμε και αφήνουμε τη βαλίτσα στο δρόμο και βλέπουμε ότι η βαλίτσα κινείται προς τα κάτω. Πώς εξηγείς ότι στους κατηφορικούς δρόμους τα σώματα κινούνται προς τα κάτω;
4. Όταν θέλεις να κάνεις κούνια, ζητάς από κάποιον μεγαλύτερο ή από κάποιο φίλο σου να σε κουνήσει. Πώς εξηγείς ότι κάθε φορά που η κούνια βρίσκεται ψηλά, κινείται πάντα προς τα κάτω;
5. Πώς εξηγείς ότι οι σταγόνες της βροχής πέφτουν προς τα κάτω;