

Ανάπτυξη και εφαρμογή μιας Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας για τη προσέγγιση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων σε διαφορετικά περιβάλλοντα

Άννα Σπύρτου

*Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,
aspirtou@uowm.gr*

Περίληψη. Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε το μέρος μιας εμπειρικής έρευνας που αφορά την ανάπτυξη και την εφαρμογή μιας Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας για τη διδασκαλία των δυναμικών αλληλεπιδράσεων, σε διαφορετικά περιβάλλοντα (βαρύτητα, μαγνητισμός, ηλεκτρισμός). Η έρευνα αυτή διεξήχθη σε φοιτητές/τριες δασκάλους και αποτελείται από πέντε δίωρα μαθήματα. Επικεντρωνόμαστε στα τρία πρώτα μαθήματα, περιγράφουμε τις σχεδιαστικές αρχές της ακολουθίας, χαρακτηριστικά από το διδακτικό μετασχηματισμένο περιεχόμενο, όπως τη δομή του περιεχομένου, αντιπροσωπευτικά διδακτικά έργα, το ρόλο του λογισμικού που σχεδιάσαμε. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της ακολουθίας δείχνουν ότι οι φοιτητές/τριες βελτίωσαν την ικανότητά τους αφενός να ερμηνεύουν τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις σε διαφορετικά περιβάλλοντα και αφετέρου να χρησιμοποιούν ποικιλία αναπαραστάσεων για τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις.

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία περιγράφουμε την εφαρμογή μιας Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας (Meheut & Psillos 2004), στην οποία η έννοια της δυναμικής αλληλεπίδρασης εισάγεται ενιαία σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα (βαρυτικές, ηλεκτροστατικές και μαγνητικές αλληλεπιδράσεις), στα πλαίσια του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα. Οι σχεδιαστικές αρχές για την ανάπτυξη της ακολουθίας προκύπτουν από: (i) τα αποτελέσματα μιας εμπειρικής έρευνας που διεξαγάγαμε σε ένα δείγμα 264 φοιτητών/τριών Παιδαγωγικών Τμημάτων (Δημοτικής και Προσχολικής εκπαίδευσης) για να καταγράψουμε τις απόψεις τους όσον αφορά τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις και τον 3^ο Νόμο του Νεύτωνα, (ii) τα σχετικά πορίσματα της βιβλιογραφίας για τις εναλλακτικές απόψεις που έχουν οι μαθητευόμενοι/ες (iii) τις προτάσεις της βιβλιογραφίας στην οποία αναλύονται θέματα που αφορούν την προσέγγιση του περιεχομένου των δυναμικών αλληλεπιδράσεων και (iv) τα πορίσματα της βιβλιογραφίας στην οποία αναλύεται ο ρόλος των εκπαιδευτικών λογισμικών ως μέσα διδασκαλίας και μάθησης.

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της ακολουθίας

Τα αποτελέσματα της εμπειρικής μας έρευνας παρουσιάζονται αναλυτικά σε άλλη εργασία του ίδιου συμποσίου (Καριώτογλου 2007). Στην εργασία αυτή, αναφέρουμε επιγραμματικά ορισμένα από τα ευρήματα της έρευνας. Ένας αριθμός φοιτητών/τριών: (α) θεωρεί τη δύναμη ως ιδιότητα ενός σώματος κι όχι ως προϊόν αλληλεπίδρασης, (β) ενώ αναγνωρίζει τη βαρυτική αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ουράνιων σωμάτων (π.χ. Γη-Σελήνη) έχει δυσκολίες να αναγνωρίσει τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις σε περιπτώσεις όπου δύο σώματα είναι ακίνητα

(π.χ. δύο ξύλινους κύβους), (γ) δεν αναγνωρίζει τη μαγνητική αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ανόμοιων σωμάτων (π.χ. μαγνήτη-σιδερένιο σώμα), (δ) φαίνεται να θεωρεί μόνον την έλξη ως δύναμη και όχι την άπωση, σε περιπτώσεις όπως η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ομώνυμων μαγνητικών πόλων, (ε) θεωρεί ότι το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα, το περισσότερο φορτίο κ.λπ. θα ασκήσει τη μεγαλύτερη δύναμη, (στ) σχεδιάζει το διάνυσμα της δύναμης στο σώμα που ασκεί τη δύναμη κι όχι σε αυτό που τη δέχεται (Kariotoglou et al., 2005).

Στη βιβλιογραφία, στην οποία αναλύονται θέματα διαπραγμάτευσης του περιεχομένου των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ άλλων, αναπτύσσονται επιφυλάξεις όσον αφορά την παραδοσιακή διατύπωση του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα «σε κάθε δράση αναπτύσσεται μια αντίθετη αντίδραση». Όπως υποστηρίζεται, αυτή η διατύπωση φαίνεται να εστιάζει τους/τις μαθητές/τριες περισσότερο στα σώματα που αλληλεπιδρούν παρά στην ίδια την αλληλεπίδραση και γι' αυτό καταλήγουν συχνά στην άποψη ότι η δράση και η αντίδραση είναι δύο ξεχωριστοί παράγοντες κι όχι οι δύο πλευρές μιας αλληλεπίδρασης (Hellingman, 1992). Οι προτάσεις ενθαρρύνουν την αλλαγή αυτής της παραδοσιακής διατύπωσης προς μια διατύπωση της οποίας η κεντρική έννοια θα είναι η έννοια της αλληλεπίδρασης (Hellingman 1992, Serway & Faughn, 2002: σελ.139). Παραθέτουμε μια σχετική διατύπωση: «Οποτεδήποτε δύο σώματα Α και Β αλληλεπιδρούν έτσι ώστε το σώμα Α να υφίσταται την επίδραση μιας δύναμης (είτε λόγω επαφής, βαρύτητας, μαγνητικής αλληλεπίδρασης, είτε μέσω οποιουδήποτε άλλου τρόπου), τότε το σώμα Β υφίσταται ταυτοχρόνως την επίδραση μιας δύναμης εξίσου μεγάλης και αντίθετα κατευθυνόμενης.» (Holton 2002: σελ. 164).

Στα πορίσματα της βιβλιογραφίας στην οποία αναλύεται ο ρόλος των λογισμικών ως μέσα διδασκαλίας και μάθησης επισημαίνεται ότι η χρήση των υπολογιστών μπορεί να επιφέρει τα επιθυμητά μαθησιακά αποτελέσματα όταν υλοποιείται σε ένα διδακτικό περιβάλλον στο οποίο οι μαθητευόμενοι/ες έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν όχι μόνο με το λογισμικό αλλά και μεταξύ τους. Οι εμπειρικές έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητευόμενοι/ες δεν επαρκεί μόνο να εκτελέσουν τα εργαστήρια ενός λογισμικού, γιατί πολύ συχνά τα αντιμετωπίζουν ως μια ομάδα υποχρεωτικών ασκήσεων με τη βοήθεια της οποίας θα μάθουν κάτι που δεν γνωρίζουν (Tao & Gunstone 1999a,b). Αντίθετα τα μαθησιακά αποτελέσματα είναι θετικά, σ' ένα διδακτικό περιβάλλον στο οποίο οι μαθητευόμενοι/ες εργάζονται σε ομάδες, συζητούν τις απόψεις μεταξύ τους, χρησιμοποιούν το λογισμικό για να ελέγξουν τις απόψεις τους και στη συνέχεια ξανασυζητούν γύρω από τις νέες απόψεις τους. (Tao & Gunstone 1999a,b, Wegerif 2004).

Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη της συγκεκριμένης ακολουθίας είναι ανάγκη να αντιμετωπιστούν ειδικές διδακτικές δυσκολίες (Kariotoglou & Spyrtou 2005). Συγκεκριμένα, η προσέγγιση της βαρυτικής αλληλεπίδρασης, η οποία ως μη παρατηρήσιμη δεν είναι δυνατόν να μελετηθεί σε συνθήκες πραγματικού εργαστηρίου. Για παράδειγμα πώς είναι δυνατόν οι φοιτητές/τριες ν' αντιληφθούν τη βαρυτική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δύο ξύλινους κύβους; Η προσέγγιση της ηλεκτροστατικής δύναμης, η οποία παρουσιάζει δυσκολίες στην υλοποίηση δραστηριοτήτων, για παράδειγμα, πώς να γνωρίζουμε με ακρίβεια και άμεσα το φορτίο δύο σωμάτων έτσι ώστε να μελετήσουμε την ηλεκτροστατική τους αλληλεπίδραση; Η ποικιλία των περιπτώσεων που χρειάζεται να περιλαμβάνει η διαφανομενολογική αλληλεπίδραση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων. Η δημιουργία κατάλληλων διδακτικών έργων για την αντιμετώπιση των αρχικών απόψεων των φοιτητών/τριών.

Οι σχεδιαστικές αρχές της ακολουθίας και ο ρόλος του εκπαιδευτικού λογισμικού

Το περιεχόμενο της ακολουθίας καθώς και των διδακτικών της έργων –λογισμικό, πειραματικές δραστηριότητες, φύλλα εργασίας- αναπτύσσονται κάτω από το πρίσμα τριών σχεδιαστικών αρχών.

(I) Οι ερμηνείες των μαθητευομένων φαίνεται ότι επηρεάζονται από το πλαίσιο μέσα στο οποίο δίνονται. Οι μαθητευόμενοι/ες μπορεί να δίνουν απαντήσεις σύμφωνες με το επιστημονικό πρότυπο σ' ένα πλαίσιο και παράλληλα σ' ένα άλλο οι απαντήσεις τους να είναι διαφορετικές από τις επιστημονικά αποδεκτές (Tao & Gunstone 1999a, Heywood & Parker 2001). Η ικανότητα των μαθητευομένων να εφαρμόζουν μια έννοια ή έναν φυσικό νόμο σε ποικιλία περιπτώσεων περιγράφεται με τον όρο «συνέπεια των πλαισίων»¹ (Savinainen & Viiri 2005). Για να τους/τις βοηθήσουμε να αποκτήσουν έναν ανεξάρτητο από τα πλαίσια συλλογισμό χρειάζεται να αντιληφτούν τις ομοιότητες που υπάρχουν σε ποικίλα πλαίσια και παραπέρα να αποδεχτούν ότι η επιστημονική άποψη έχει γενική ισχύ στα πλαίσια αυτά (Tao & Gunstone 1999a). Για παράδειγμα, οι φοιτητές/τριες χρειάζεται να διερευνήσουν αν η ισότητα των μέτρων της δράσης-αντίδρασης ισχύει και στα τρία είδη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων.

(II) Όταν αναγνωρίζουν οι μαθητευόμενοι/ες τη δυναμική αλληλεπίδραση σε ποικίλα πλαίσια δεν σημαίνει απαραίτητα ότι έχουν αποκτήσει επιστημονικές απόψεις για την οντολογική φύση των αλληλεπιδράσεων (diSessa et al., 2004). Για παράδειγμα, οι φοιτητές/τριες χρειάζεται όχι μόνο να αναγνωρίζουν ότι ένας μαγνήτης ασκεί δύναμη πάνω σ' ένα μη μαγνητικό υλικό, αλλά γενικότερα να δομήσουν την άποψη ότι η δύναμη αυτή είναι προϊόν αλληλεπίδρασης και όχι ιδιότητα ενός σώματος. Στη βιβλιογραφία με τον όρο «συνοχή των αναπαραστάσεων»² εννοούμε την ικανότητα των μαθητευομένων να χρησιμοποιούν σωστά μια ποικιλία αναπαραστάσεων για μια έννοια π.χ. διαγράμματα, γραφικές παραστάσεις, σχήματα, προφορικό λόγο, διανύσματα, χάρτες κ.λπ. (Savinainen & Viiri 2005). Επομένως, όταν οι μαθητευόμενοι/ες μπορούν να χειριστούν μια ποικιλία αναπαραστάσεων για τη δυναμική αλληλεπίδραση, τότε μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα την οντολογική άποψη που έχουν για την έννοια αυτή. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα της εμπειρικής μας έρευνας δείχνουν ότι οι φοιτητές/τριες σχεδιάζουν λανθασμένα το διάνυσμα της δύναμης, δηλαδή φαίνεται ότι έχουν ελλείψεις στη «συνοχή των αναπαραστάσεων».

(III) Με τη χρήση των υπολογιστών μπορούμε να προσεγγίσουμε μη παρατηρήσιμα φαινόμενα (όπως τη βαρυτική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε ένα καρπούζι και ένα μήλο), να δημιουργήσουμε συγκεκριμένα αντικείμενα που συμπεριφέρονται ως αφηρημένα (π.χ. διαστημικές φορτισμένες σφαίρες), να δημιουργήσουμε περιβάλλοντα μέσα στο λογισμικό τα οποία επιτρέπουν τους/τις μαθητευομένους/ες να εκφράσουν τις απόψεις τους και να τις συζητήσουν μεταξύ τους (Βοσνιάδου, 1998: σελ. 354-356). Οι δυνατότητες αυτές του υπολογιστή συμβάλλουν στο να εμπλουτίσουν οι μαθητευόμενοι/ες τη φαινομενική τους εμπειρία, να αναλογιστούν τις απόψεις τους και έτσι να βελτιώσουν την εννοιολογική τους κατανόηση πάνω σε μια αφηρημένη έννοια όπως είναι στην περίπτωση αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση (Βοσνιάδου, 1998: σελ. 354-356, Tao & Gunstone 1999a, Niedderer 2003).

Η Διδακτική-Μαθησιακή Ακολουθία

Η ακολουθία υλοποιείται σε πέντε δίωρα μαθήματα. Σε προηγούμενη εργασία έχουμε περιγράψει το περιεχόμενο όλων των μαθημάτων (Σπύρτου κ.α. 2006). Στην εργασία αυτή, επικεντρωνόμαστε στο περιεχόμενο και τα διδακτικά έργα των τριών πρώτων μαθημάτων, έτσι ώστε να αναδείξουμε σε βάθος ορισμένα καινοτομικά χαρακτηριστικά της ακολουθίας. Στον πίνακα (1) φαίνονται το περιεχόμενο και τα διδακτικά έργα που υλοποίησαν οι φοιτητές/τριες στα τρία μαθήματα.

Για να τους/τις βοηθήσουμε ν' αποκτήσουν έναν ανεξάρτητο από τα πλαίσια συλλογισμό «κινήθηκαν» σε δύο επίπεδα: αφενός σ' ένα γενικό επίπεδο προσεγγίζοντας τα

¹ Ο όρος «συνέπεια των πλαισίων» μεταφράζει τον αγγλικό όρο «contextual coherence».

² Ο όρος «συνοχή των αναπαραστάσεων» μεταφράζει τον αγγλικό όρο «representational coherence».

τρία είδη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων κι αφετέρου σ' ένα ειδικό, προσεγγίζοντας επιμέρους περιπτώσεις των τριών αυτών αλληλεπιδράσεων. Συγκεκριμένα, στο γενικό επίπεδο περιλαμβάνεται η εισαγωγή της έννοιας της βαρυτικής αλληλεπίδρασης και ο νόμος της Παγκόσμιας Έλξης (1^ο μάθημα), η εισαγωγή της ηλεκτροστατικής και της μαγνητικής αλληλεπίδρασης, η έννοια της δύναμης καθώς και ο 3^{ος} Νόμος του Νεύτωνα (2^ο μάθημα). Παραθέτουμε αντιπροσωπευτικά τον ορισμό της δύναμης και τη διατύπωση του 3^{ου} Νόμου από τις σχετικές σημειώσεις που δόθηκαν στους/στις φοιτητές/τριες: «*Η δύναμη είναι μια αφηρημένη έννοια που επινόησαν οι φυσικοί για να προσεγγίσουν την αλληλεπίδραση των σωμάτων. Η δύναμη είναι το μέτρο της αλληλεπίδρασης μεταξύ σωμάτων, όπως: μαζών, φορτίων, μαγνητικών ποσοτήτων*». «*Όταν ένα σώμα Α δρα πάνω σε ένα σώμα Β με μια δύναμη F_α , τότε ταυτόχρονα και το σώμα Β δρα πάνω στο Α με μια δύναμη F_β . Οι δυο δυνάμεις της αλληλεπίδρασης έχουν το ίδιο μέγεθος και μπορεί να είναι ελκτικές ή απωστικές*» (Σπύρτου κ.α. 2006).

Πίνακας 1: Το περιεχόμενο και τα διδακτικά έργα της ακολουθίας στα τρία πρώτα μαθήματα

1 ^ο μάθημα	2 ^ο μάθημα	3 ^ο μάθημα
Περιεχόμενο		
Βαρυτική αλληλεπίδραση Νόμος της Παγκόσμιας έλξης	Ηλεκτροστατική αλ/ση Μαγνητική αλ/ση Δύναμη 3 ^{ος} Νόμος του Νεύτωνα	Ομοιότητες/Διαφορές των δυναμικών αλλ/σεων Νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου
Διδακτικά έργα		
Λογισμικό Μη παρατηρήσιμα φαινόμενα	Λογισμικό Μη παρατηρήσιμα φαινόμενα Συγκεκριμένα /Αφηρημένα Πειραματικές Δραστηριότητες	Υλικά του 1 ^{ου} & 2 ^{ου} μαθήματος

Στο ειδικό επίπεδο περιλαμβάνονται μη παρατηρήσιμα φαινόμενα που παρουσιάζονται στο λογισμικό, όπως η βαρυτική αλληλεπίδραση ενός «διαστημικού καρπουζιού» και της Γης, συγκεκριμένα σώματα που συμπεριφέρονται ως αφηρημένα, π.χ. δύο διαστημικές σφαίρες, πειραματικές δραστηριότητες π.χ. μαγνητικά αυτοκινητάκια κ.α. (Hatzikrantiotis et al., 2005). Οι φοιτητές/τριες έχουν τη δυνατότητα να μελετήσουν την αλληλεπίδραση σωμάτων σε ποικίλες περιπτώσεις, δηλαδή σώματα που έχουν ίσες ή άνισες μάζες, ίσες μάζες και ίσα ή άνισα φορτία, ίσα φορτία και άνισες μάζες κ.τ.λ. Οι φοιτητές/τριες καθώς «κινούνται» στα δύο αυτά επίπεδα έχουν την ευκαιρία ν' αντιληφθούν τις ομοιότητες των αλληλεπιδράσεων τόσο σε διαφορετικά περιβάλλοντα (τα τρία είδη των αλληλεπιδράσεων) όσο και σε επιμέρους διαφορετικές περιπτώσεις για το κάθε περιβάλλον.

Στο 3^ο μάθημα, η διαπραγμάτευση των ομοιοτήτων/διαφορών σχεδιάστηκε για να ενισχύσει την επιστημονική άποψη όσον αφορά την οντολογική φύση των αλληλεπιδράσεων. Οι φοιτητές/τριες έχουν την ευκαιρία στο μάθημα αυτό να συλλογιστούν ενιαία πάνω στα τρία είδη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων, ν' αντιληφθούν για παράδειγμα ότι η βαρυτική αλληλεπίδραση είναι μόνο ελκτική ενώ οι άλλες δύο μπορεί να είναι ελκτικές ή απωστικές, ότι όλα τα ηλεκτρικά φορτισμένα σώματα μπορούν να αλληλεπιδράσουν ελκτικά με αφόρτιστα σώματα, ότι η ισότητα των μέτρων δράσης/αντίδρασης σχετίζεται με το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου.

Η δόμηση της οντολογικής άποψης για τη φύση των αλληλεπιδράσεων από την πλευρά των φοιτητών/τριών, πιστεύουμε ότι ενισχύεται με δύο ακόμη χαρακτηριστικά του

διδασκτικά μετασχηματισμένου περιεχομένου: (α) τη διανυσματική απεικόνιση της δύναμης και (β) την ποιοτική προσέγγιση του Νόμου του αντιστρόφου τετραγώνου. Οι φοιτητές/τριες, μέσα στα εργαστήρια του λογισμικού, σχεδιάζουν τα διανύσματα της δράσης/αντίδρασης σε ποικίλες περιπτώσεις. Με κατάλληλες οδηγίες του λογισμικού διαπιστώνουν ότι τα μήκη των διανυσμάτων των δύο αυτών δυνάμεων είναι ίσα κι άρα και τα μέτρα τους είναι ίσα (Χατζηκρανιώτης & Θεοδωρακάκος, 2007). Επιπλέον στο 3^ο μάθημα προσεγγίζεται ποιοτικά ο τύπος του Νόμου του αντιστρόφου τετραγώνου. Έτσι στην ακολουθία μας, η αμοιβαιότητα των δυναμικών αλληλεπιδράσεων προσεγγίζεται με το συνδυασμό δύο αναπαραστάσεων, διανυσματικά και με τύπο. Ο συνδυασμός αυτός πιστεύουμε ότι μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της ικανότητας των φοιτητών/τριών να χρησιμοποιούν μια ποικιλία αναπαραστάσεων για τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις (βλ. σε προηγούμενη ενότητα).

Σε όλα τα μαθήματα οι φοιτητές/τριες απαντούν σε ερωτηματολόγιο για την ανάδειξη των απόψεών τους, εκτελούν και συζητούν σε επίπεδο ομάδας πραγματικά πειράματα καθώς και προσομοιωμένα σε υπολογιστή, συμπληρώνουν ερωτηματολόγιο αξιολόγησης του μαθήματος. Ο/Η εκπαιδευτικός εισάγει την επιστημονική γνώση και συζητά με τους/τις φοιτητές/τριες σε επίπεδο τάξης παραδείγματα εφαρμογής για τον έλεγχο της κατανόησης της νέας γνώσης. Στους/Στις φοιτητές/τριες δίνονται σημειώσεις και ασκήσεις για εξάσκηση στο σπίτι.

Η εφαρμογή της ακολουθίας

Η ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε 8 πρωτοετείς φοιτητές/τριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης στην Παιδαγωγική Σχολή της Φλώρινας, του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Οι φοιτητές/τριες επιλέχθηκαν με βάση τις απαντήσεις που έδωσαν σε γραπτό ερωτηματολόγιο το οποίο συμπλήρωσαν σχεδόν όλοι / ες οι πρωτοετείς φοιτητές / τριες πριν την εφαρμογή της ακολουθίας (Kariotoglou et al. 2005). Το ερωτηματολόγιο καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται σε εργασία του ίδιου συμποσίου (Καριώτογλου 2007). Το δείγμα των 8 φοιτητριών αποτελείται από άτομα που αφ' ενός επιθυμούσαν τη συμμετοχή τους στην πειραματική διδασκαλία, αφ' ετέρου αποτελούσαν αντιπροσωπευτικά δείγματα σε σχέση με τις εναλλακτικές ιδέες σε σχέση με την έννοια της αλληλεπίδρασης. Πριν ξεκινήσει η εφαρμογή της ΔΜΑ πήραμε ατομικές συνεντεύξεις έτσι ώστε να αποσαφηνίσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις απαντήσεις που είχαν δώσει στο ερωτηματολόγιό τους. Στο τέλος κάθε μαθήματος, το ερωτηματολόγιο ανάδειξης και τα φύλλα εργασίας των φοιτητών/τριών παραδίδονταν για να αναλυθούν και να συμβάλλουν στην τελική αξιολόγηση. Ολόκληρη η διδακτική διαδικασία βιντεοσκοπήθηκε και στη συνέχεια μετατράπηκε σε κείμενο, με στόχο την αξιολόγηση της προσπάθειας.

Αποτελέσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε αποτελέσματα (πίνακας 2) που αφορούν την εξέλιξη των απόψεων των φοιτητριών σε τρεις κατευθύνσεις: α) αν αναγνωρίζουν την αμοιβαία δυναμική αλληλεπίδραση που αναπτύσσεται μεταξύ δύο σωμάτων β) με ποιον τρόπο τοποθετούν το διάνυσμα της δύναμης στα σώματα που αλληλεπιδρούν γ) αν αντιλαμβάνονται την ισότητα των μέτρων της δράσης και της αντίδρασης.

Όσον αφορά την πρώτη κατεύθυνση, τα ευρήματα που παρουσιάζουμε προκύπτουν από το αρχικό ερωτηματολόγιο και την αντίστοιχη συνέντευξη καθώς και το αρχικό φύλλο εργασίας το οποίο συμπληρώνουν οι φοιτητές/τριες στην αρχή κάθε διδασκαλίας. Διαπιστώνεται ότι: (i) Όλα τα άτομα του δείγματος φαίνεται ότι αναγνωρίζουν περιορισμένα τα τρία είδη των αλληλεπιδράσεων. Δεν υπάρχει φοιτητής/τρια που να αναφέρει με σαφήνεια και τα τρία είδη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων. Για παράδειγμα μια φοιτήτρια αναφέρει τον όρο «βαρυτική» δύναμη σε μια περίπτωση (Γη-Σελήνη) ενώ στις υπόλοιπες σχετικές

περιπτώσεις (π.χ. Καρπούζι-Γη) δεν κάνει καμία αναφορά. Αυτό το εύρημα θεωρούμε ότι είναι σημαντικό, γιατί δείχνει ότι οι πρωτοετείς φοιτητές/τριες δεν φαίνεται να έχουν κατανοήσει την ύπαρξη των τριών αυτών δυναμικών αλληλεπιδράσεων αν και περιλαμβάνονται στο αναλυτικό πρόγραμμα του ελληνικού σχολείου. (ii) Τα μισά άτομα του δείγματος (4 άτομα) φαίνεται ότι συγχέουν τις τρεις αλληλεπιδράσεις. Χαρακτηριστική είναι η απάντηση: «Το καρπούζι είναι αφόρτιστο, άρα δεν μπορεί να ασκήσει δύναμη στη Γη. Από την άλλη, η Γη ασκεί τη μαγνητική της δύναμη στο καρπούζι». (iii) Όλοι/ες οι φοιτητές/τριες διακρίνουν ρητά ή άρρητα, τα σώματα σε «ενεργά» και «μη ενεργά». Τα ουράνια σώματα, (π.χ. η Γη), οι μαγνήτες και τα φορτισμένα σώματα ανήκουν στην κατηγορία των «ενεργών» σωμάτων. Ενώ τα γήινα σώματα (π.χ. ένα ξύλινος κύβος), τα σιδηρομαγνητικά (π.χ. ένας σιδερένιος κύβος) και τα αφόρτιστα (π.χ. ένα κομμάτι χαρτί) ανήκουν στην κατηγορία των «μη ενεργών» σωμάτων. Αυτή η κατηγοριοποίηση οδηγεί στην άποψη ότι τα «ενεργά» σώματα ασκούν δυνάμεις πάνω στα «μη ενεργά» αλλά το αντίστροφο δεν μπορεί να συμβαίνει. Για παράδειγμα 4 άτομα πιστεύουν ότι μια φορτισμένη ράβδος ασκεί δύναμη σ' ένα κομμάτι χαρτί αλλά το χαρτί δεν μπορεί να ασκήσει δύναμη στη φορτισμένη ράβδο.

Πίνακας 2. Η εξέλιξη των εναλλακτικών απόψεων των φοιτητών/τριών για τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις των σωμάτων.

Ερευνητικά ερωτήματα & οι αντίστοιχες εναλλακτικές απόψεις Δείγμα: 8 άτομα	Πριν την ακολουθία	Μετά την ακολουθία
Αναγνωρίζεται η δυναμική αλληλεπίδραση σε ποικίλα πλαίσια; (i) Αναγνωρίζουν περιορισμένα τα τρία είδη των αλληλεπιδράσεων (ii) Συγχέουν τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις (iii) Διακρίνουν τα σώματα σε «ενεργά» - «μη ενεργά»	8 4 8	0 0 5
Πώς τοποθετείται το διάνυσμα της δύναμης στα σώματα; (i) «Μοντέλο Δίνω» (ii) Ταύτιση των διανυσμάτων ταχύτητας/δύναμης	5 7	0 0
Αντιλαμβάνονται την ισότητα των μέτρων; (i) Το μεγαλύτερο σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη.	8	2

Τα ευρήματα από την εφαρμογή των τριών πρώτων μαθημάτων δείχνουν ότι οι φοιτητές/τριες έχουν βελτίωση στις απόψεις τους για τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις. Συγκεκριμένα, (i) όλα τα άτομα του δείγματος αναγνωρίζουν σε ποικίλες περιπτώσεις τα τρία είδη των αλληλεπιδράσεων. Παραθέτουμε αντιπροσωπευτική απάντηση που δόθηκε στο φύλλο αξιολόγησης για τη βαρυτική αλληλεπίδραση: «Κατάλαβα ότι δύο σώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Είναι η ίδια βαρυτική αλληλεπίδραση, είτε είσαι στο διάστημα είτε είσαι στη Γη». (ii) Όλα τα άτομα του δείγματος τονίζουν τις διαφορές και τις ομοιότητες μεταξύ των τριών αλληλεπιδράσεων. Αυτό σημαίνει ότι όλοι/ες οι φοιτητές/τριες όχι μόνο αναγνωρίζουν τις τρεις αυτές αλληλεπιδράσεις αλλά επιπλέον φαίνεται να μην τις συγχέουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα: «Είχα την ιδέα ότι όλες οι αλληλεπιδράσεις είναι είτε ελκτικές είτε απωστικές. Τώρα συνειδητοποίησα ότι η βαρυτική είναι μόνο ελκτική...Ακόμα κατάλαβα ότι ένα φορτισμένο σώμα μπορεί να ασκήσει δύναμη σε ένα αφόρτιστο». (ii) Τρία από τα οχτώ άτομα παρουσιάζουν στα γραπτά τους μια καθαρή άποψη για την αμοιβαιότητα των δυναμικών αλληλεπιδράσεων. Για παράδειγμα, μια φοιτήτρια γράφει: «Έμαθα ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων είναι αμοιβαία. Μεταξύ δύο μαγνητών και γενικά, μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων ή μαζών». Αυτό σημαίνει ότι 3 άτομα μετά την εφαρμογή της ακολουθίας έπαψαν να διακρίνουν τα σώματα σε «ενεργά» και «μη ενεργά». Για τα υπόλοιπα 5 άτομα δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι/ες ως προς την εξέλιξη αυτής της εναλλακτικής άποψης.

Όσον αφορά τη δεύτερη κατεύθυνση, δηλαδή την τοποθέτηση του διανύσματος της δύναμης, αρχικά διαπιστώνεται ότι: (i) 5 φοιτητές/τριες -στις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις- τοποθετούν το διάνυσμα της δύναμης πάνω στο σώμα που ασκεί τη δύναμη και όχι σ' αυτό που τη δέχεται. Για παράδειγμα ένας φοιτητής γράφει: «Είναι η Γη που δίνει τη δύναμη στο καρπούζι». Ονομάζουμε αυτή την άποψη «Μοντέλο Δίνω». Φαίνεται ότι οι φοιτητές/τριες αντιλαμβάνονται τη δύναμη ως μια εσωτερική ιδιότητα του σώματος, που «δίνει» τη δύναμή του και γι' αυτό θεωρούν εύλογο να σχεδιάσουν το διάνυσμα πάνω στο σώμα που ασκεί τη δύναμη (Disessa et al. 2004). (ii) Στις περιπτώσεις της ηλεκτροστατικής και τη μαγνητικής άπωσης, 7 άτομα τοποθετούν το διάνυσμα σωστά. Ωστόσο, οι εξηγήσεις που δίνουν δεν είναι σύμφωνες με την επιστημονική άποψη. Οι φοιτητές/τριες φαίνεται ότι ταυτίζουν την κατεύθυνση της ταχύτητας με αυτή του διανύσματος της δύναμης, άποψη που είναι ευρέως καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία (Vosniadou et al. 2001). Μια αντιπροσωπευτική φράση τους είναι: «...γιατί η μικρή σφαίρα θα κινηθεί προς αυτή την κατεύθυνση». (iii) Μετά την εφαρμογή των τριών πρώτων μαθημάτων όλοι/ες οι φοιτητές/τριες δείχνουν ότι ξεπέρασαν αυτήν την εναλλακτική άποψη, τουλάχιστον σε επίπεδο αναπαράστασης. Επτά άτομα γράφουν στο φύλλο αξιολόγησής τους ότι κατανόησαν την επιστημονικά αποδεκτή αναπαράσταση του διανύσματος της δύναμης από τις σχετικές δραστηριότητες του λογισμικού. Μάλιστα δύο άτομα που είχαν από την αρχή της ακολουθίας τη σωστή άποψη αναφέρουν: «Ο υπολογιστής μας βοήθησε να ξεκαθαρίσουμε πώς να σχεδιάζουμε το διάνυσμα της δύναμης».

Όσον αφορά την τρίτη κατεύθυνση, δηλαδή αν και πώς αντιλαμβάνονται την ισότητα των μέτρων της δράσης και της αντίδρασης, η εξέλιξη των απόψεών τους έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα: (i) Στην αρχή του 1^{ου} μαθήματος, όλα τα άτομα του δείγματος έχουν την άποψη «το μεγαλύτερο σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη», π.χ. η Γη ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στο μήλο απ' ό,τι το μήλο σ' αυτήν, γιατί η Γη είναι πολύ μεγάλη. Στο τέλος του 1^{ου} μαθήματος, επίσης όλα τα άτομα γράφουν στο φύλλο αξιολόγησής τους ότι διαπίστωσαν την ισότητα των μέτρων στις δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στη Γη-Σελήνη, Καρπούζι-Γη, Μήλο-Καρπούζι κ.λπ. (ii) Ωστόσο, στην αρχή του 2^{ου} μαθήματος, επτά άτομα συνεχίζουν να έχουν την αρχική τους εναλλακτική άποψη. Καθώς ασκούνται πάνω στα εργαστήρια του λογισμικού, για τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις εκφράζουν έντονα την έκπληξή τους ότι τα μέτρα της δράσης-αντίδρασης είναι ίσα. Για παράδειγμα, μια ομάδα γράφει στο σχετικό φύλλο εργασίας: «Τα μέτρα των δυνάμεων είναι ίσα ενώ τα φορτία είναι άνισα!». Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στο τέλος του 1^{ου} μαθήματος οι φοιτητές/τριες συζήτησαν την ισότητα δράσης-αντίδρασης σε ποικίλες περιπτώσεις της βαρυτικής αλληλεπίδρασης. Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν τα πορίσματα της βιβλιογραφίας, στα οποία τονίζεται ότι οι μαθητευόμενοι/ες μπορεί ν' αποκτήσουν την επιστημονική άποψη σ' ένα πλαίσιο και να διατηρούν τις εναλλακτικές τους σ' ένα άλλο (Tao & Gunstone 1999a). (iii) Μετά το τέλος του 3^{ου} μαθήματος, -όταν εισάγεται μαθηματικά ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου- 6 φοιτητές/τριες δηλώνουν στα φύλλα αξιολόγησης ότι το μέτρο και των δύο μαζών/φορτίων/μαγνητικών ποσοτήτων συμβάλλει στο μέτρο της κάθε μιας δύναμης. Υπάρχουν ωστόσο 2 άτομα που συνεχίζουν να διατηρούν την εναλλακτική τους άποψη σε ειδικές περιπτώσεις. Παράδειγμα, μια φοιτήτρια υποστηρίζει ότι: «Η αρνητικά φορτισμένη ράβδος ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στην άλλη γιατί έχει μεγαλύτερο φορτίο».

Συμπεράσματα-Συζήτηση

Στο άρθρο αυτό περιγράψαμε τις σχεδιαστικές αρχές και τα βασικά χαρακτηριστικά μιας Διδακτικής – Μαθησιακής Ακολουθίας, την οποία εφαρμόσαμε σε 8 φοιτητές/τριες με στόχο την οντολογική αλλαγή της σκέψης τους για την έννοια της δυναμικής αλληλεπίδρασης, από αυτής της εσωτερικής ή αποκτώμενης ιδιότητας σε αυτή που θεωρεί τη δύναμη ως προϊόν αλληλεπίδρασης δυο σωμάτων και μάλιστα σε διαφαινομενολογικό πλαίσιο.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν θεωρούμε ότι μετά την εφαρμογή της ακολουθίας, οι φοιτητές/τριες παρουσίασαν βελτίωση τόσο στην ικανότητά τους να ερμηνεύουν τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις σε διαφορετικά πλαίσια με βάση την επιστημονική άποψη όσο και στην ικανότητά τους να χρησιμοποιούν ποικιλία αναπαραστάσεων τους, π.χ. να ερμηνεύουν την ισότητα των μέτρων της δράσης-αντίδρασης διανυσματικά και ποσοτικά.

Ο μικρός αριθμός του δείγματος δεν μας επιτρέπει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο μέσα από τα ευρήματα της έρευνας αναδεικνύονται συγκεκριμένες δυσκολίες που έχουν οι φοιτητές/τριες τόσο στη «συννοχή των αναπαραστάσεων» όσο και στη «συνέπεια των πλαισίων» (Savinainen & Viiri 2005). Για παράδειγμα η δυσκολία που έχουν ν' αναγνωρίζουν τη βαρυντική αλληλεπίδραση σε ακίνητα σώματα. Η δυσκολία να αντιληφθούν την αμοιβαιότητα των αλληλεπιδράσεων, δηλαδή ν' αντιληφθούν ότι δεν υπάρχουν «ενεργά» και «μη ενεργά» σώματα καθώς και να αποδεχτούν την ισότητα των μέτρων της δράσης-αντίδρασης. Επομένως μια επόμενη εφαρμογή αυτής της ακολουθίας θα ήταν χρήσιμο να εμπλουτιστεί με διδακτικά έργα και δραστηριότητες που θα βοηθήσουν παραπέρα την αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών.

Ευχαριστίες. Η συγγραφέας ευχαριστεί το ΕΠΕΑΕΚ – ΥΠΕΠΘ, Ερευνητικό Πρόγραμμα Πυθαγόρας 1, Ενίσχυση ερευνητικών ομάδων στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, για την υποστήριξη αυτής της έρευνας.

Παραπομπές

- Βοσνιάδου, Σ (1998). Γνωσιακή Ψυχολογία: Ψυχολογικές Μελέτες και Δοκίμια. Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.
- Καριώτογλου, Π. (2007). Οι ιδέες των φοιτητών/τριών Παιδαγωγικών Τμημάτων για την έννοια της δυναμικής αλληλεπίδρασης σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Εργασία που υποβλήθηκε στο 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση», Ιωάννινα.
- Σπύρτου, Α., Ζουπίδης, Α., Καριώτογλου, Π. (2006). Ένα ερευνητικό πρόγραμμα για τη διδασκαλία των δυναμικών αλληλεπιδράσεων σε υποψήφιους/ες νηπιαγωγούς: η Διδακτική Ακολουθία και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της. Πρόκειται να δημοσιευτεί στα: Πρακτικά του 4^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου για τις Φυσικές Επιστήμες στην Προσχολική Εκπαίδευση. 23-25 Ιουνίου, Βόλος.
- Χατζηκρανιώτης, Ε. & Θεοδωρακάκος, Α. (2007). Newton-3: ένα αλληλεπιδραστικό λογισμικό για τη διδασκαλία των δυναμικών αλληλεπιδράσεων σε διαθεματικό πλαίσιο. Εργασία που υποβλήθηκε στο 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση», Ιωάννινα.
- DiSessa, A., Gillespie, N. & Esterly, J. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900.
- Hatzikraniotis, E., Theodorakakos, A., Spyrtou, A. & Kariotoglou, P. (2005). Newton-3: A Software For Teaching Dynamic Interactions. In: P.G., Michaelides, A., Margetousaki, (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Hands on Science, HSci.*, July 13-16, Rethimno, 96-102.
- Hellingman, C. (1992). Newton's third law revisited. *Physics Education*, 27, 112-115.
- Heywood, D. & Parker, J. (2001). Describing the cognitive landscape in learning and teaching about forces. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1177 – 1199.
- Holton, G. (2002). Εισαγωγή στις έννοιες και τις θεωρίες της Φυσικής Επιστήμης. Αναθεώρηση και προσθήκες από τον Brush, Stephen. Επιστημονική επιμέλεια: Μπαλτάς, Α. & Χριστοδουλίδης, Κ. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

- Kariotoglou, P. & Spyrtou, A. (2005). A Teaching – Learning Sequence Concerning Dynamic Interactions: The Need for Appropriate Software. In: P. Michaelides, A. Margetousaki, (Eds.), Proceedings of the 2nd International Conference on Hands on Science, HSci, July 13-16, Rethimno, 91-95.
- Kariotoglou, P., Spyrtou, A. and Tselfes, V., (2005). Student – teachers' conceptions about gravity interaction. In: R. Pinto et D. Couso (Eds.), Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science, Barcelona, Spain, 180-183.
- Meheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Niedderer, H., Sander, F., Goldberg, F., Otero, V., Jorde, D., Slotta, J., Stromme, A., Fischer, H., Hücke, L., Tiberghien, A., Vince, J. (2003). Research About The Use Of Information Technology In Science Education. In: Psillos, D., Kariotoglou, P., Tselfes, V., Hatzikraniotis, E., Fassoulopoulos, G., Kallery, M. (Eds): "Science Education Research In The Knowledge-Based Society", Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 309-321.
- Savinainen A. & Viiri U. (2005). Using the Force Concept Inventory to characterize students' conceptual coherence. In L. Haapasalo & K. Sormunen (Eds.), Towards meaningful mathematics science education, Proceedings on the IXX Symposium of Finish Mathematics and Science Education Research Association. Bulletin of Faculty of Education, University of Joensuu; 2003. no 86, 142 – 152. Available at URL: <http://kotisivu.mtv3.fi/physics/> (accessed on 24/5/2005).
- Serway, R. & Faughn, J. (2002). Physics. Copyright by Holt, Rinehart and Winston, United States of America.
- Tao, P. & Gunstone, R. (1999a). The process of conceptual change in Force and Motion during Computer – Supported Physics Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(17), 859-882
- Tao, P., Gunstone, R. (1999b). Conceptual change in science through collaborative learning at the computer. *International Journal of Science Education*, 21(1), 39-57.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Wegerif, R. (2004). The role of educational software as a support for teaching and learning conversations. *Computers & Education*, 43, 179-191.