

## **Newton-3 : ένα αλληλεπιδραστικό λογισμικό για τη διδασκαλία των δυναμικών αλληλεπιδράσεων σε διαθεματικό πλαίσιο**

**Ε. Χατζηκρυνιώτης\*, Α. Θεοδωρακάκος**  
Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
evris@physics.auth.gr

**Περίληψη.** Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται το λογισμικό Newton-3. Πρόκειται για μια εφαρμογή, δικτυακή ή stand-alone, που αποτελείται από μια σειρά 11 εργαστηριακών ασκήσεων. Σε κάθε εργαστήριο, δίνεται στους μαθητές/τριες ένα πρόβλημα αλληλεπιδράσεων και τους ζητείται να τοποθετήσουν τις δράσεις. Κάθε εικονικό εργαστήριο αποτελείται από 4 διαδοχικά βήματα, στα οποία οι μαθητές/τριες εισάγονται σταδιακά από την έννοια της δράσης του ενός σώματος πάνω στο άλλο στην έννοια της αλληλεπίδρασης. Η εφαρμογή είναι δομημένη με μορφή αλληλεπιδραστικών διαλόγων, όπου ένας εικονικός καθηγητής σχολιάζει τις ενέργειες των μαθητών. Οι περιπτώσεις που εξετάζονται στα εικονικά εργαστήρια και τα σχόλια του εικονικού καθηγητή έχουν επιλεγεί με βάση τις γνωστές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Στην εργασία παρουσιάζεται το λογισμικό και δείγματα καταγραφής των ενεργειών των μαθητών.

### **1. Εισαγωγή**

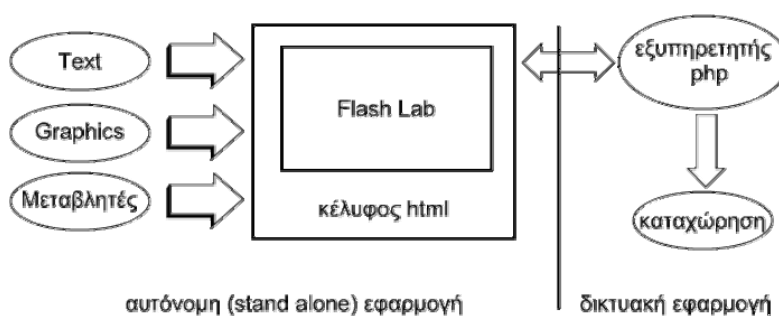
Ο 3ος νόμος του Νεύτωνα και η έννοια των αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωμάτων αποτελούν θέματα πρωτεύουσας σημασίας για την οικοδόμηση εννοιών που σχετίζονται με περιπτώσεις κίνησης σωμάτων, ισορροπίας και αλλαγής στην κινητική κατάσταση. Παρόλη τη σημασία και τις προόδους που έχουν γίνει στις ΤΠΕ προς τη κατεύθυνση της αποτελεσματικότερης διδασκαλίας και μάθησης λίγη μόνο προσοχή έχει δοθεί στην ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού για την περίπτωση του 3ου νόμου του Νεύτωνα. Στην πλειοψηφία του διατιθέμενου λογισμικού, το θέμα του 3ου νόμου του Νεύτωνα καλύπτεται μόνο σαν μέρος ενός μεγαλύτερου συνόλου που συνήθως συνδέεται με κινηματική και αναπαραστάσεις διαγραμμάτων ισορροπίας δυνάμεων [Hestenes 1992, Ioannides 2002]. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αλληλεπιδράσεις παρουσιάζονται σαν βέλη που εμφανίζονται με το πάτημα ενός κουμπιού. Σε άλλες ακόμα λιγότερες περιπτώσεις εκπαιδευτικού λογισμικού δίνεται στο χρήστη (μαθητή) μια εικόνα «αλληλεπιδρώντων σωμάτων» και ένα ζεύγος δυνάμεων με τη μορφή βελών ιδίων διαστάσεων και αντιθέτων διευθύνσεων και του ζητείται να τις τοποθετήσει στα σώματα [Kolokotronis 2001]. Παρόλο που και οι δυο προαναφερθείσες προσεγγίσεις μπορεί να προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν μπορούν να αποσαφηνίσουν την ουσία των αλληλεπιδράσεων με την έννοια της κοινής σχέσης και της κοινής δράσης μεταξύ δυο σωμάτων.

Το εκπαιδευτικό λογισμικό που παρουσιάζεται εδώ, αποτελεί μια δικτυακή εφαρμογή σχεδιασμένη για το θέμα του 3ου νόμου. Το λογισμικό καλύπτει μια σειρά από περιπτώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των βαρυτικών αλλά και των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων. Η σχεδίαση βασίζεται σε πρόσφατη βιβλιογραφική [Καριώτογλου 2004] αλλά και εμπειρική έρευνα [Καριώτογλου 2005a] η οποία αποκαλύπτει ότι οι μαθητές συνήθως

θεωρούν ότι η δύναμη είναι είτε μια εσωτερική είτε μια αποκτώμενη ιδιότητα των σωμάτων, παρά το ότι είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των σωμάτων.

## 2. Γενική Περιγραφή της εφαρμογής

Η εφαρμογή αποτελείται από μια σειρά 11 εργαστηρίων, όπου σε κάθε εργαστήριο δίνεται στους μαθητές ένα πρόβλημα αλληλεπιδράσεων και τους ζητείται να τοποθετήσουν τις δράσεις. Η εφαρμογή είναι δομημένη με μια μορφή αλληλεπιδραστικών διαλόγων όπου ένας εικονικός καθηγητής σχολιάζει τις ενέργειες των μαθητών [Hatzikraniotis 2005]. Οι περιπτώσεις που εξετάζονται στα εικονικά εργαστήρια καθώς και τα σχόλια του εικονικού καθηγητή έχουν επιλεγεί με βάση τις γνωστές από εμπειρική έρευνα εναλλακτικές ιδέες των μαθητών [Καριώτογλου 2007]. Κάθε εικονικό εργαστήριο αποτελείται από διαδοχικά βήματα στα οποία οι μαθητές εισάγονται σταδιακά από την έννοια της δράσης του ενός σώματος πάνω στο άλλο στην έννοια της αλληλεπίδρασης.



Εικόνα 1: Η δομή της εφαρμογής

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με σκοπό να είναι προσαρμόσιμη. Ο πυρήνας της εφαρμογής (Flash Lab) ενσωματώνεται σε μια html σελίδα (εικόνα 1). Τα σχόλια του εικονικού καθηγητή, τα γραφικά του προγράμματος και οι μεταβλητές (όπως π.χ. η θέση των αντικειμένων) αντλούνται από εξωτερικά αρχεία. Έτσι, όποιος χρήστης-καθηγητής θέλει να τη χρησιμοποιήσει εντάσσοντας τη στην εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθεί για τον 3ο νόμο του Νεύτωνα, έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τις αποκρίσεις του προγράμματος (σχόλια-οδηγίες του εικονικού καθηγητή), όπως κρίνει αυτός μια και αυτές δεν είναι προγραμματισμένες στο πυρήνα του προγράμματος, αλλά βρίσκονται σε ένα εξωτερικό αρχείο κειμένου, από και όπου αντλούνται. Με αυτό το τρόπο, χωρίς να χρειάζονται γνώσεις προγραμματισμού, αλλά απλής επεξεργασίας κειμένου γίνεται εύκολη η προσαρμογή του προγράμματος αλλά και η μετάφραση του σε άλλες γλώσσες. Επιπλέον συνθήκες χρήσης του προγράμματος, που αφορούν την λειτουργικότητα και τη μορφή καταγραφής των δεδομένων, μπορούν να οριστούν και να αλλάξουν με τον ίδιο τρόπο. Η καταγραφή των ελέγχων πραγματοποιείται μέσω ενός απλού εξυπηρετητή (server), που το μόνο χαρακτηριστικό που χρειάζεται είναι να έχει υποστήριξη PHP. Στην τρέχουσα διανομή, διατίθεται ο εξυπηρετητής mini-Apache με το ελεύθερο λογισμικό easyPHP [easyPHP, 2006].

Η εφαρμογή μπορεί να είναι προσπελάσιμη μέσω του παγκόσμιου ιστού ή να «στηθεί» μέσα σε ένα τοπικό δίκτυο LAN (π.χ. σε ένα σχολικό εργαστήριο υπολογιστών). Μπορεί όμως κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί και σαν αυτόνομη (stand-alone) εφαρμογή, σε ένα υπολογιστή χωρίς δίκτυο, πχ με τη χρήση ενός CD. Σε αυτή τη περίπτωση η καταγραφή δεδομένων δεν είναι δυνατή. Παρ' όλ' αυτά η χρήση τεχνολογικών καινοτομιών και από πλευράς hardware αλλά και software, επιτρέπει τη προσπέλαση της εφαρμογής με πλήρεις δυνατότητες καταγραφής μέσω ενός USB disk.

### 2.1 Το περιβάλλον διεπαφής

Το περιβάλλον διεπαφής της εφαρμογής, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2, αποτελείται από τέσσερις περιοχές:

- το μενυ συντομεύσεων για τα 11 συνολικά εργαστήρια της εφαρμογής στο κάτω μέρος
- το χώρο της θεωρητικής περιγραφής στα αριστερά
- την κεντρική σκηνή η οποία καταλαμβάνει τον χώρο από τα δεξιά και προς το κέντρο
- τις οδηγίες χρήσης της εφαρμογής στη μορφή ενός pop up window που μπορεί να προσπελαστεί μέσω μιας συντόμευσης ακριβώς πάνω από την κεντρική σκηνή.



Εικόνα 2: Το περιβάλλον της εφαρμογής

Η κεντρική σκηνή, όπως φαίνεται στην εικόνα 3, αποτελείται από τα εξής μέρη:

- την εργαλειοθήκη στα δεξιά
- το χώρο των αναπαραστάσεων στο κέντρο
- το χώρο οδηγιών – αποκρίσεων του καθηγητή στο κάτω μέρος.



Εικόνα 3: Η κεντρική σκηνή των εικονικών εργαστηρίων

Ο χώρος των αναπαραστάσεων αποτελείται από μια εικόνα υποβάθρου, η οποία οριοθετεί οπτικά το περιβάλλον του κάθε εργαστηρίου, τα σώματα προς διερεύνηση, καθώς και τα διανύσματα των αλληλεπιδράσεων των σωμάτων. Το υπόβαθρο είναι χαρακτηριστικό για το κάθε εργαστήριο όπως και τα σώματα. Το αντικείμενο διάνυσμα, αφού επιλεγεί από

τον χρήστη με κλικ πάνω του μπορεί να μεταφερθεί με κλικ και σύρσιμο καθώς και να περιστραφεί με χρήση του δίσκου περιστροφής από τα εργαλεία. Στην εργαλειοθήκη περιλαμβάνονται τρία κουμπιά χρήσης καθώς και ένα χρονόμετρο. Το κουμπί “Γράφημα” εναλλάσσει την απεικόνιση από φωτορεαλιστική σε σχηματική αναπαράσταση. Το κουμπί αυτό επιτελεί δυο λειτουργίες: αφ ενός συνδέει την απεικόνιση με γραφική αναπαράσταση και αφ’ εταίρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως βοήθημα στο χρήστη για να ελέγξει με περισσότερη ακρίβεια την τοποθέτηση του διανύσματος.

Ο δίσκος περιστροφής χρησιμοποιείται για να περιστραφεί το διάνυσμα του χώρου αναπαραστάσεων. Ο δείκτης του δίσκου έχει την ίδια ακριβώς γωνία με το διάνυσμα και περιστρέφοντάς τον με κλικ και σύρσιμο περιστρέφεται αυτόματα και το διάνυσμα (εφόσον είναι επιλεγμένο). Μέσω του κουμπιού «Συνέχεια» εκτελούνται οι έλεγχοι του προγράμματος και όταν ο χρήστης έχει δώσει σωστή απάντηση, του επιτρέπεται να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο του κάθε εργαστηρίου. Το χρονόμετρο καταγράφει το χρόνο που έχει παρέλθει από την έναρξη του κάθε εργαστηρίου.

## 2.2 Οι έλεγχοι του προγράμματος

Η διδακτική φιλοσοφία και κατ’ επέκταση η φιλοσοφία με την οποία δομήθηκε το πρόγραμμα, άρα και οι έλεγχοι του, βασίστηκε στο ότι ο χρήστης πρέπει πρώτα να μπορέσει να αναγνωρίσει τη σωστή θέση εφαρμογής του διανύσματος της 1<sup>ης</sup> δράσης, τη διεύθυνση, μετά τα αντίστοιχα της δεύτερης δράσης και στη συνέχεια τη σχέση των μέτρων μεταξύ των αλληλεπιδράσεων από το ένα σώμα στο άλλο. Με αυτό το σκεπτικό αφού ο χρήστης υποδείξει την άποψη του πάνω στο φαινόμενο με την τοποθέτηση του διανύσματος, χρησιμοποιεί το κουμπί «Συνέχεια». Οι περιπτώσεις ελέγχου που πραγματοποιεί το πρόγραμμα κατά τη τοποθέτηση του διανύσματος από τους μαθητές στην απάντησή τους, βασίζονται σε γνωστές εναλλακτικές απόψεις τους όσον αφορά τη δύναμη σαν διάνυσμα και τις αλληλεπιδράσεις του 3<sup>ου</sup> νόμου του Νεύτωνα [Καριώτογλου 2004, Kariotoglou 2005a, Kariotoglou 2005b, Palmer 1997]. Εδώ διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- i. το διάνυσμα να μην έχει σημείο εφαρμογής πάνω σε κάποιο σώμα αλλά να βρίσκεται στο κενό
- ii. το διάνυσμα να μην έχει σημείο εφαρμογής πάνω σε κάποιο σώμα αλλά να βρίσκεται κοντά στο λάθος σώμα
- iii. το διάνυσμα να έχει σημείο εφαρμογής πάνω στο λάθος σώμα
- iv. το διάνυσμα να έχει σημείο εφαρμογής κοντά στο σωστό σώμα
- v. το διάνυσμα να έχει σημείο εφαρμογής πάνω στην επιφάνεια του σωστού σώματος
- vi. το διάνυσμα να έχει τη μύτη του πάνω στην επιφάνεια του σωστού σώματος
- vii. το διάνυσμα να έχει σημείο εφαρμογής κάπου στο εσωτερικό του σωστού σώματος (αλλά όχι στο κέντρο)
- viii. το διάνυσμα να έχει τη μύτη του κάπου στο εσωτερικό του σωστού σώματος (αλλά όχι στο κέντρο)
- ix. το διάνυσμα να έχει τη μύτη στο κέντρο του σωστού σώματος
- x. το διάνυσμα να έχει το σημείο εφαρμογής στο κέντρο του σωστού σώματος και στην συγκεκριμένη περίπτωση ελέγχεται η διεύθυνση και η φορά του διανύσματος.

## 2.3 Ο Εικονικός Καθηγητής

Ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια της εφαρμογής αποτελεί η ύπαρξη ενός εικονικού καθηγητή. Αφ’ ενός γιατί από εκεί δίνονται οι αρχικές οδηγίες που εισάγουν το χρήστη στο φαινόμενο και το τι πρέπει να κάνει, για παράδειγμα:

*«Ας μελετήσουμε την επίδραση της σελήνης στη γη. Τοποθέτησε την επίδραση (διάνυσμα) στη σωστή θέση».*

και αφ' εταίρου γιατί κάθε φορά που γίνεται ο έλεγχος της απάντησης του χρήστη ( μέσω του κουμπιού «Συνέχεια») η απόκριση του συστήματος εμφανίζεται στην περιοχή των αποκρίσεων του καθηγητή. Οι αποκρίσεις αυτές δεν αποτελούν απλή ένδειξη λάθους αλλά βοηθούν το χρήστη να καταλάβει το πρόβλημα στην άποψη του, ενώ ταυτόχρονα τον βοηθούν να οδηγήσει τη σκέψη του προς τη σωστή κατεύθυνση. Για παράδειγμα, στη περίπτωση που ο χρήστης έχει θέσει το σημείο εφαρμογής του διανύσματος στην επιφάνεια του σωστού σώματος (π.χ. Σελήνη) ο καθηγητής θα αποκριθεί με :

*«Το διάνυσμα απεικονίζει την επίδραση του ενός σώματος (ΓΗ) στο άλλο (ΣΕΛΗΝΗ). Έχεις βάλει την επίδραση πάνω στη σελήνη. Θυμήσου ότι ένα διάνυσμα έχει μέτρο, διεύθυνση, φορά και σημείο εφαρμογής. Προσπάθησε πάλι.»*

### 3. Τα στάδια των εργαστηρίων

Το κάθε εργαστήριο χωρίζεται σε τέσσερα στάδια. Η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο γίνεται μόνο μετά την επιτυχή ολοκλήρωσή του. Τα πρώτα δυο στάδια ασχολούνται με τη δράση του ενός σώματος πάνω στο άλλο, ενώ τα επόμενα δυο στάδια ασχολούνται με την αλληλεπίδραση των δυο σωμάτων. Η έννοια της αλληλεπίδρασης ως κοινή σχέση μεταξύ των δυο σωμάτων εισάγεται αφού οι μαθητές έχουν ερευνήσει την έννοια της δράσης. Αναλυτικότερα:

- i. Στο πρώτο στάδιο ζητείται από το μαθητή να τοποθετήσει τη δράση του ενός σώματος (δεξιά) στο άλλο (αριστερό). Δίνεται μεγάλη έμφαση στην κατανόηση από πλευράς μαθητή της αναπαράστασης της δράσης ως δύναμη και του διανυσματικού χαρακτήρα της δύναμης.
- ii. Το δεύτερο στάδιο είναι παρόμοιο με το πρώτο. Εδώ εισάγεται η έννοια της αντίδρασης ως η δράση του δεύτερου σώματος πάνω στο πρώτο. Και πάλι δίνεται μεγάλη έμφαση στη κατανόηση από πλευράς του μαθητή του διανυσματικού χαρακτήρα της δύναμης. Η ομοιότητα με το πρώτο στάδιο του εργαστηρίου βοηθά τον μαθητή να θέσει τις βάσεις για την κατανόηση της αμοιβαίας σχέσης μεταξύ δράσης και αντίδρασης.
- iii. Στο τρίτο στάδιο εξερευνείται η έννοια της αμοιβαίας σχέσης. Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται οι ενέργειες των δυο πρώτων σταδίων σαν ενιαία διαδικασία. Από το μαθητή ζητείται να τοποθετήσει και τις δυο δυνάμεις στα αλληλεπιδρώντα σώματα. Εξερευνείται η έννοια του «ίσου μέτρου αλλά αντίθετης φοράς»
- iv. Η έννοια της αμοιβαιότητας εξερευνείται περαιτέρω στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο, όπου τα δυο σώματα παρουσιάζονται να αλληλεπιδρούν και τα διανύσματα των δυνάμεων εμφανίζονται και στα δύο. Ο μαθητής καλείται να μετακινήσει το ένα από τα δύο σώματα και να παρατηρήσει την αλλαγή στη διεύθυνση των διανυσμάτων καθώς και την ταυτόχρονη αλλαγή των μέτρων τους ανάλογα με την απόσταση.

Η εφαρμογή αποτελείται από έντεκα εργαστήρια που περιλαμβάνουν δυο γενικές κατηγορίες αλληλεπιδράσεων σωμάτων. Βαρυτικές και ηλεκτροστατικές. Η γενική δομή του κάθε εργαστηρίου είναι η ίδια με αυτή που περιγράψαμε πιο πάνω. Η επιλογή αυτών των δυο γενικών κατηγοριών και των συγκεκριμένων εργαστηρίων έγινε με γνώμονα την σταδιακή πρόοδο των παραδειγμάτων από τα οικεία σε πιο περίπλοκα. Τελικός στόχος είναι να μπορεί ο χρήστης μετά την ολοκλήρωση της σειράς, να αντεπεξέρχεται σε γενικές εφαρμογές του 3ου νόμου του Νεύτωνα. Χρησιμοποιώντας τη γνώση του και σε καταστάσεις που δεν είναι γνώριμες από τα σχολικά εγχειρίδια. Οι περιπτώσεις των θεμάτων των εργαστηρίων βασίζονται σε γνωστές γνωστικές δυσκολίες των μαθητών, κατά τις οποίες αυτοί τείνουν να εξηγούν την αλληλεπίδραση μεταξύ δυο σωμάτων υιοθετώντας μια «αρχή της κυριαρχίας» δηλαδή την άποψη ότι όσο μεγαλύτερη μάζα έχει ένα σώμα τόσο μεγαλύτερη δύναμη ασκεί

[Viennot 1979, Maloney 1984, Erickson 1985, Brown 1998, Καριώτογλου 2004, Kariotoglou 2005a, Kariotoglou 2005b].

#### 4. Δυνατότητες καταγραφής

Η εφαρμογή N3 δεν αποτελεί μόνο ένα εργαλείο για να βοηθήσει τον χρήστη-μαθητή να κατανοήσει τη σημασία και την «λειτουργία» του 3<sup>ου</sup> νόμου το Νεύτωνα. Αποτελεί επίσης και ένα βασικό εργαλείο έρευνας για τον εκπαιδευτικό. Αυτό πραγματώνεται μέσω της λειτουργίας καταγραφής ενεργειών που έχει ενσωματωθεί στη εφαρμογή. Η καταγραφή είναι διαθέσιμη μόνο στην περίπτωση που η εφαρμογή εκτελείται σε περιβάλλον server. Αυτό το γεγονός επιτρέπει στην εφαρμογή να χρησιμοποιηθεί από πολλά άτομα όπως π.χ. ένα σχολικό εργαστήριο ή ακόμα και από απομακρυσμένα σημεία δηλαδή με μια διαδικασία προσπέλασης μέσω του διαδικτύου. Με αυτό το τρόπο ο καθηγητής δεν χρειάζεται να είναι παρών σε κάθε ενέργεια του κάθε μαθητή για να λάβει συμπεράσματα για τις αντιλήψεις, τον τρόπο σκέψης και την πρόδοό του.

Η αρχή στην οποία βασίστηκε η λειτουργία καταγραφής είναι πολύ απλή και σύμφυτη με τον τρόπο χρήσης της εφαρμογής που περιγράφηκε πιο πάνω. Πρακτικά, τελείται κατά την στιγμή που η εφαρμογή ελέγχει τις ενέργειες του χρήστη, δηλαδή τη στιγμή που αυτός πατά το κουμπί «Συνέχεια». Τα δεδομένα που καταγράφονται αφορούν το εργαστήριο, το στάδιο του εργαστηρίου, το χρόνο που έχει παρέλθει από την έναρξη της άσκησης και την απάντηση του μαθητή. Τα δεδομένα καταγράφονται σε αρχείο κειμένου (txt), με μορφοποίηση δεδομένων (comma delimited) ώστε να είναι δυνατή και εύκολη η προσπέλασή και η επεξεργασία τους.

#### Πίνακας I: δείγμα καταγραφής

Lab_8, Session_1, 00:00:22, Action: The vector is on the free space.
Lab_8, Session_1, 00:00:26, Action: The vector is set on wrong body.
Lab_8, Session_1, 00:00:33, Action: The vector is set on wrong body.
Lab_8, Session_1, 00:00:38, Action: The vector is set close to the wrong body.
...
Lab_8, Session_1, 00:01:46, Action: Correct body, arrow points to CM
Lab_8, Session_1, 00:01:49, Action: Correct body, arrow points to surface
Lab_8, Session_1, 00:02:09, Action: Correct body, arrow is inside the body
...

Στην περίπτωση του Πίνακα I έχει δοθεί σε ένα μαθητή το εργαστήριο των δυο σφαιρών που αλληλεπιδρούν ηλεκτροστατικά. Ο μαθητής καλείται να τοποθετήσει το διάνυσμα της δράσης του ενός σώματος πάνω στο άλλο. Οι καταγεγραμμένες ενέργειες του μαθητή είναι ενδεικτικές των παρανοήσεών του και μπορούν να σκιαγραφήσουν τον τρόπο σκέψης του. Τα πρώτα βήματα δείχνουν την επικράτηση του μοντέλου «δίνω» κατά το οποίο ο μαθητής προσπαθεί α τοποθετήσει το διάνυσμα πάνω ή γύρω από το σώμα που «δρα». Τα επόμενα βήματα μας δίνουν στοιχεία για την άποψη του μαθητή όσον αφορά τη δύναμη σαν διάνυσμα. Ο μαθητής κατά τις διαδοχικές προσπάθειές του τοποθετεί το διάνυσμα στο κέντρο της μάζας, στην επιφάνεια, μέσα στο σώμα αλλά όχι στο κέντρο μάζας κτλ. Ο καθηγητής που θα χρησιμοποιήσει την καταγραφή μπορεί να αναλύσει τις ενέργειες του χρήστη μετά τη διδασκαλία και να λάβει χρήσιμα συμπεράσματα. Παραδείγματος χάριν:

- συστηματικές επαναλήψεις λανθασμένων ενεργειών από τον χρήστη-μαθητή φανερώνουν παρανοήσεις στο θέμα του 3<sup>ου</sup> νόμου του Νεύτωνα από τη πλευρά του.
- λανθασμένες ενέργειες που εξαλείφονται με το πέρασμα από το ένα εργαστήριο στο άλλο, φανερώνουν την πρόοδο που έχει επιτευχθεί.

- λανθασμένες ενέργειες που επανεμφανίζονται όταν η θεματική ενότητα αλλάζει (π.χ. πέρασμα από βαρυτικές σε ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις) φανερώσουν την αντίληψη από πλευράς μαθητή ότι ο 3<sup>ος</sup> νόμος του Νεύτωνα υφίσταται μόνο σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις.

Έτσι ο καθηγητής θα έχει στη διάθεσή του στοιχεία για τις αντιλήψεις του μαθητή, καθώς και για την πρόοδό του, και θα μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για τον τρόπο που δομεί τη σκέψη του. Και το σημαντικότερο είναι με τη λειτουργία αυτή της εφαρμογής τα στοιχεία που συλλέγονται δεν αφορούν ένα μόνο άτομο-μαθητή αλλά ένα οποιοδήποτε σύνολο θελήσει ένας καθηγητής να ερευνήσει.

## 5. Καταληκτικά σχόλια

Η εφαρμογή Newton-3 είναι μια δικτυακή εφαρμογή προσπελάσιμη μέσω ενός τυπικού φυλλομετρητή με εγκατεστημένο το Macromedia Flash Player Plug-in. Η Εφαρμογή αποτελείται από 11 εργαστηριακές ασκήσεις βασισμένες σε παρανοήσεις μαθητών πάνω στον 3<sup>ο</sup> νόμο του Νεύτωνα. Οι φιλικές προς το χρήστη σχεδιαστικές αρχές καθώς και η ευκολία στη χρήση [Μικρόπουλος 2000] και οι παιδαγωγικές αρχές πάνω στη οποία βασίστηκε η εφαρμογή, την κάνουν ιδανική για την εισαγωγή των εννοιών «αμοιβαιότητας» και «αλληλεπίδρασης».

Η εφαρμογή είναι εύκολα προσαρμόσιμη: Σχόλια και οδηγίες του εικονικού καθηγητή δεν είναι ενσωματωμένα στην εφαρμογή αυτή καθ' εαυτή αλλά αντλούνται από εξωτερικά αρχεία κειμένου (txt). Με αυτό το τρόπο ο εκπαιδευτικός που θα χρησιμοποιήσει την εφαρμογή μπορεί να προσαρμόσει αλλά ακόμα και να μεταφράσει την εφαρμογή, σύμφωνα με τις ανάγκες του. Η εφαρμογή μπορεί επίσης να επεκταθεί και σε άλλες αλληλεπιδράσεις μιας και οι εικόνες αντλούνται επίσης από εξωτερικές πηγές. Χαρακτηριστικά του προγράμματος, καθώς και το φορμάρισμα της καταγραφής δεδομένων αντλούνται ομοίως από εξωτερικά αρχεία κειμένου.

Αν και η εφαρμογή μπορεί να εκτελεστεί σε ένα τυπικό υπολογιστή, για την δυνατότητα της καταγραφής δεδομένων χρειάζεται διάταξη server. Νέες τεχνολογίες χρήσης USB sticks καθώς και λογισμικού mini-server επιτρέπουν στην εφαρμογή να χρησιμοποιηθεί απλά και άμεσα σε ένα τυπικό σχολικό εργαστήριο. Αυτές οι δυνατότητες δημιουργούν νέες προοπτικές στην εκτίμηση των αντιδράσεων των μαθητών κατά τις ενέργειές τους και επιτρέπουν την εξερεύνηση του τρόπου σκέψης των μαθητών σε ατομικό επίπεδο.

## Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή υποστηρίχτηκε από το πρόγραμμα «ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ & ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ» ΕΠΕΑΕΚ – ΥΠΕΠΘ ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ - Ενίσχυση ερευνητικών ομάδων στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

## Παραπομπές

- Καριώτογλου Π, Κουνατίδου Χ, Καρνέζου Μ (2004) Βιβλιογραφική επισκόπηση των ιδεών των μαθητευομένων για την έννοια της δύναμης, στο Β. Τσελφές, Π. Καριώτογλου, Μ. Πατσαδάκης (επιμ.) Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες, Αθήνα.
- Καριώτογλου Π, (2007) Οι ιδέες των φοιτητών/τριών Παιδαγωγικών Τμημάτων για την έννοια της Δυναμικής Αλληλεπίδρασης σε διαφορετικά περιβάλλοντα, Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες, Ιωάννινα.



- Μικρόπουλος Τ. (2000). Εκπαιδευτικό Λογισμικό: Θέματα σχεδίασης και αξιολόγησης λογισμικού υπερμέσων, εκδ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- Brown D, Clement J (1998). Misconceptions concerning Newton's law of action and reaction: the underestimated importance of the third law, in J.D. Novak (ed.), Proc. of 2<sup>nd</sup> Intern. Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Cornell Univ, 3, 39-53.
- easyPHP, ιστοσελίδα <http://www.easyphp.org/?lang=en>, προσπέλαση 21 Nov. 2006
- Erickson, G.L (1985), Aguirre J. Students' intuitions and science instructions: Stability and task context in students' thinking about vector quantities. Annual Meeting of the Canadian Society for the Study of Education, Montreal.
- Hatzikraniotis E., Theodorakopoulos A., Kariotoglou P. and Spyrtou A. (2005). Newton-3: a software for teaching dynamic interactions. Παρουσιάστηκε στο HSci2005 - 2nd International Conference Hands-on Science: Science in a changing Education, Crete, Greece
- Hestenes D, Wells M, Swackhamer G (1992), Force Concept Inventory. Physics Teachers, 30, 141-158.
- Ioannides C, Vosniadou S (2002),. The changing meanings of force,. Cognitive Science Quarterly, 2 5-62.
- Kariotoglou P, Spyrtou A, Tselfes V (2005a) Student – teachers' conceptions about gravity interaction. accepted for publication in the proceedings of the 5<sup>th</sup> ESERA conference. Barcelona, Spain.
- Kariotoglou P, Spyrtou A (2005b), A Teaching –Learning sequence concerning dynamic interactions:the need for appropriate software 2005 Παρουσιάστηκε στο HSci2005 - 2nd International Conference Hands-on Science: Science in a changing Education, Crete, Greece
- Kolkotronis D, Solomonidou C, Students' conceptions about mechanical interaction and design of appropriate educational software for constructive teaching. in Psillos D, Kariotoglou P, Tselfes V, Bisdikian G, Fassoulopoulos G, Hatzikraniotis E, Kallery M (eds), Proc. of 3<sup>rd</sup> Intern. Conference of ESERA, Thessaloniki, 2001.
- Maloney D.P (1984), Rule governed approaches to physics-Newton's third law, Physics Education, 19, 37-42
- Palmer D. (1997) The effect of context on students' reasoning about forces. International Journal of Science Education, 19, 681-696.
- Viennot L (1979), Spontaneous reasoning in elementary dynamics, European Journal of Science Education, 1, 205-221.