

Διδακτική προσέγγιση των κρούσεων με προσομοιώσεις – Μια μελέτη περίπτωσης

Δημήτριος Δ. Αγγέλης¹, Αναστάσιος Α. Μικρόπουλος²

¹ Γ.Ε.Λ. Ζωσιμαίας Σχολής Ιωαννίνων, msiom@sch.gr

² Π. Τ. Δ. Ε. Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, amikrop@cc.uoi.gr

Περίληψη. Στην παρούσα εργασία διερευνώνται τα αποτελέσματα της διδασκαλίας ορισμένων εννοιών, αρχών και νόμων, που υπεισέρχονται στη μελέτη του φαινομένου της κρούσης μέσω προσομοιώσεων με το λογισμικό Interactive Physics 2000 (I.P.). Στο τέλος εκτιμάται η διδακτική αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας με το συγκεκριμένο λογισμικό. Στην έρευνα έλαβαν μέρος 70 μαθητές της Α' Τάξης Γενικού Λυκείου. Στους μαθητές δόθηκαν ερωτηματολόγια με στόχο να διερευνηθούν οι γνώσεις των μαθητών πριν από τη δική μας διδακτική παρέμβαση και οι γνώσεις τους μετά από αυτήν. Έτσι φάνηκε ότι μετά τη διδακτική παρέμβαση οι μαθητές είχαν κατανοήσει σε μεγαλύτερο βαθμό την έννοια της ορμής, την εφαρμογή του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα στις κρούσεις και την εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ορμής. Οι απαντήσεις αξιολογήθηκαν με τη χρήση της ταξινομίας SOLO. Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν θετικά ως προς την εισαγωγή του H/Y και των προσομοιώσεων μέσω του λογισμικού I.P. στη διδασκαλία των ανωτέρω εννοιών.

Εισαγωγή

Η μελέτη του φαινομένου των κρούσεων παρουσιάζει ενδιαφέρον διότι υπεισέρχονται μεγέθη, έννοιες, νόμοι και αρχές όπως η ορμή, η ώθηση δύναμης $\vec{F}\Delta t$, η κινητική ενέργεια, το σύστημα σωμάτων, το σύστημα κέντρου μάζας (C.M.S) και το σύστημα εργαστηρίου (LAB.S), το μονωμένο σύστημα σωμάτων, οι εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις αλληλεπίδρασης, η αρχή διατήρησης της ορμής, η αρχή διατήρησης της ενέργειας και ο 3^{ος} νόμος του Νεύτωνα.

Η μέχρι τώρα διδασκαλία του φαινομένου βασίζεται κυρίως στην παραδοσιακή διδασκαλία που είναι δασκαλοκεντρική και χαρακτηρίζεται αφενός από την παθητική στάση των μαθητών απέναντι στο αντικείμενο και αφετέρου από την ακριβή μαθηματική προσέγγιση. Συνέπεια αυτού είναι οι διαφορετικές κατηγορίες κρούσεων (τελείως ελαστικές, τελείως ανελαστικές) να αποτελούν απλές εφαρμογές (με χωρίς νόημα υπολογισμούς) του νόμου της διατήρησης ορμής και του νόμου της διατήρησης της ενέργειας, ενώ θεωρούνται ότι είναι οι πιο θεμελιώδεις νόμοι στη φύση και οι οποίοι περιέχουν βασικές έννοιες της Φυσικής.

Εναλλακτικές ιδέες των μαθητών

Στο φαινόμενο των κρούσεων τα σώματα που συγκρούονται αποτελούν ένα σύστημα σωμάτων, υπό την επίδραση εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων. Οι εσωτερικές δυνάμεις έχουν σχέση δράσης- αντίδρασης. Επομένως στις κρούσεις βρίσκει εφαρμογή ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα.

Πολλοί ερευνητές αναφέρονται στις αντιλήψεις των μαθητών (ηλικίες 15-18 ετών) για την έννοια της δύναμης (Halloun & Hestenes 1985, Hake 1998,). Πολλά άρθρα εστιάζουν ιδιαίτερα στην κατανόηση του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα από τους μαθητές και φοιτητές σε

καταστάσεις ισορροπίας καθώς και σε δυναμικές καταστάσεις, όπως είναι οι κρούσεις (Terry & Jones 1986, Brown 1989, Montanero et al. 1995). Οι έρευνες αυτές δείχνουν ότι οι μαθητές και φοιτητές όλων των βαθμίδων έχουν σοβαρές δυσκολίες στην κατανόηση του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα (Brown 1989, Hellingman 1992, Montanero et al 1995, Gauld 1999, Bao et al 2002, Savinainen et al 2004).

Τα αποτελέσματα των ερευνών εστιάζουν στην ελλιπή κατανόηση του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα σε δυναμικές καταστάσεις και στην έννοια της δύναμης γενικότερα. Οι έρευνες έδειξαν ότι ο 3^{ος} νόμος είναι δύσκολο τόσο να διδαχθεί, όσο και να κατανοηθεί. Επιπλέον έχει καταδειχθεί ότι τα οπτικοποιημένα πρότυπα μπορούν να είναι χρήσιμα στη διδασκαλία του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα (Jimenez & Perales, 2001).

Επίσης έρευνες όπως των Chandralekha και Rosengrant (2003), και Lawson και McDermott (1987), αναφέρονται και στη δυσκολία κατανόησης εννοιών και αρχών όπως της ορμής, της αρχής διατήρησης της ορμής, της αρχής διατήρησης της ενέργειας, του θεωρήματος ώθησης-ορμής. Οι έρευνες αυτές έδειξαν ότι οι φοιτητές θεωρούν ότι η ορμή δεν είναι διανυσματικό μέγεθος. Θεωρούν ότι σε μια κρούση η ορμή και η κινητική ενέργεια διατηρούνται σε κάθε σώμα, ότι η κινητική ενέργεια είναι διανυσματικό μέγεθος και οι κινούμενες μάζες σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας δεν έχουν ορμή. Επίσης συγχέουν την ορμή με την κινητική ενέργεια και τη δύναμη. Επιπλέον δυσκολεύονται να εφαρμόσουν τις αρχές διατήρησης ορμής και διατήρησης της κινητικής ενέργειας σε περιπτώσεις κρούσεων.

Ανάλογες επιστημονικές έρευνες έχουν γίνει και από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο στο βιβλίο του καθηγητή της Φυσικής Α΄ τάξης του Γενικού Λυκείου (ΥΠΕΠΘ 2005).

Διδασκαλία της Φυσικής και ΤΠΕ

Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και ειδικότερα της Φυσικής, αποτελεί σήμερα ευρύ πεδίο εφαρμογής της Πληροφορικής στην εκπαίδευση. Όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, η παραδοσιακή διδασκαλία της ενότητας των κρούσεων παρουσιάζει δυσκολίες στην κατανόησή της από τους μαθητές και θεωρούμε ότι μπορεί επιτυχώς να υποστηριχτεί από τις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Η διδασκαλία του φαινομένου των κρούσεων και του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα με την βοήθεια των ΤΠΕ δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη των ανωτέρω εννοιών, αρχών και νόμων μέσω των προσομοιώσεων, είναι το yZET, (Hartel 2000), το Explorer (Richards et al. 1992), το Power Point (Κολοκοτρώνης και Σολομωνίδου, 2002).

Το Interactive Physics χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη πλήθος φαινομένων της Φυσικής από Έλληνες και ξένους εκπαιδευτικούς όπως στη διδασκαλία της κινηματικής (Jimoyiannis, Komis, 2001), του φαινομένου της ελεύθερης πτώσης (Μικρόπουλος 2006), στη διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (Steinberg et al. 2000). Ο Norman (1999) μελέτησε την κρούση σε περιβάλλον Interactive Physics σε συνδυασμό με τη χρήση βίντεο. Επίσης, υπάρχουν ιστοσελίδες (<http://e-yliko.gr/physlyk.html>) όπου αποσπασματικά, χωρίς επιστημονική έρευνα, προσομοιώνονται αρκετά φαινόμενα της Φυσικής όπως και αυτό των κρούσεων. Επίσης υπάρχουν ιστοσελίδες όπου προσομοιώνονται διαφορετικοί τύποι φυσικών φαινομένων με εφαρμογές διάφορων λογισμικών ή βίντεο (Maclsaac 2004). Όπως προκύπτει από τα ανωτέρω, ενώ υπάρχουν κάποιες προσομοιώσεις σχετικές με τις κρούσεις, δεν έχει ερευνηθεί και μελετηθεί η διδασκαλία του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα στις κρούσεις, η διδασκαλία βασικών αρχών και εννοιών, όπως η ορμή και η διατήρηση της ορμής, ενώ το φαινόμενο σκέδασης και του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα δε μελετήθηκε μέσω του Interactive Physics με τη χρήση στροβοσκοπικής μεθόδου.

Εμπειρική Μελέτη

Οι ερευνητικοί άξονες – διδακτικοί στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση:

1. του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα σε δυναμικές καταστάσεις (κρούσεις)
2. της αρχής διατήρησης της ορμής
3. μεγεθών που μεταβάλλονται (ορμή, ταχύτητα, κινητική ενέργεια)
4. της έννοιας της σκέδασης.

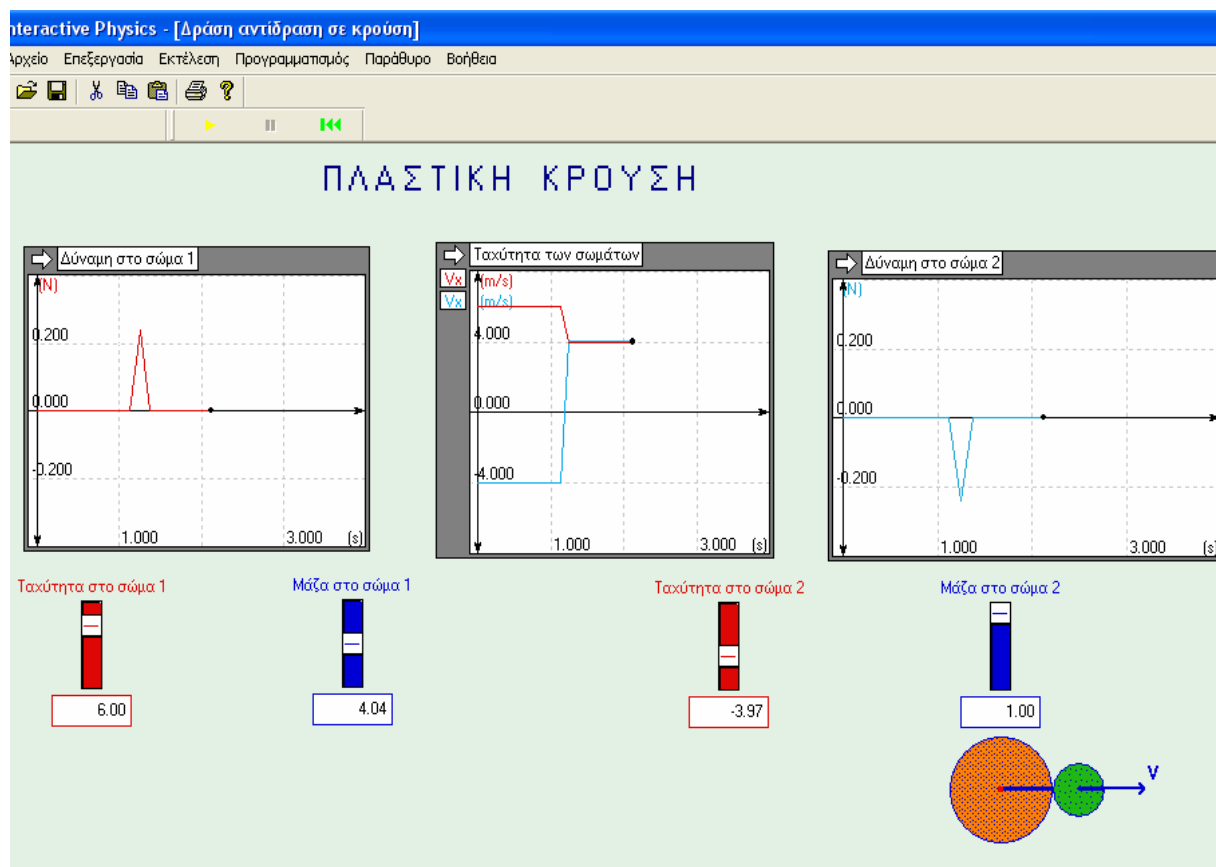
Οι προσομοιώσεις σχεδιάστηκαν στο I.P. ώστε να είναι λειτουργικές, εύχρηστες, να παρέχουν αλληλεπίδραση, να αναβαθμίζουν το ρόλο του δασκάλου και να ενθαρρύνουν την ενεργητική συμμετοχή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία. Δημιουργήθηκαν τέσσερις (4) προσομοιώσεις. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται μόνο οι δύο.

Δείγμα

Στην έρευνα έλαβαν μέρος 70 μαθητές της Α΄ τάξης Γενικού Λυκείου. Η έρευνά μας πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2005-2006. Προηγήθηκε μια πλήρης παραδοσιακή διδασκαλία (θεωρία και ασκήσεις) της ενότητας των κρούσεων, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα και τις οδηγίες του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου. Ακολούθησε η δική μας έρευνα. Καμιά πειραματική δραστηριότητα δεν πραγματοποιήθηκε κατά τη διδασκαλία των κρούσεων στο εργαστήριο της Φυσικής.

Περιγραφή των προσομοιώσεων

Πείραμα 1: ‘Δράση- Αντίδραση σε κρούση’ (1^{ος} διδακτικός στόχος)



Σχήμα 1: Στιγμιότυπο του πειράματος μετά την κρούση. Φαίνονται τα διαγράμματα της δύναμης $F_1=f(t)$ που ασκείται στο σώμα1 και της $F_2 =f(t)$ στο σώμα2 κατά τη διάρκεια της κρούσης. Το συσσωμάτωμα (m_1+m_2) μετά τη κρούση κινείται με την ίδια ταχύτητα V , όπως φαίνεται και στο διάγραμμα των ταχυτήτων.

Δύο σφαίρες κινούνται χωρίς την επίδραση του πεδίου βαρύτητας, χωρίς τριβές και αντίσταση του αέρα. Έτσι οι μόνες δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την κρούση είναι αυτές που ασκούνται μεταξύ των σωμάτων κατά τη διάρκεια της επαφής (Σχήμα 1). Με το εικονικό πείραμα δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να διαπιστώσουν:

- ποιες είναι οι εσωτερικές δυνάμεις (δυνάμεις αλληλεπίδρασης) στο σύστημα σωμάτων
- ποια είναι η σχέση τους, πώς μεταβάλλονται, και πόσο χρόνο δρουν.

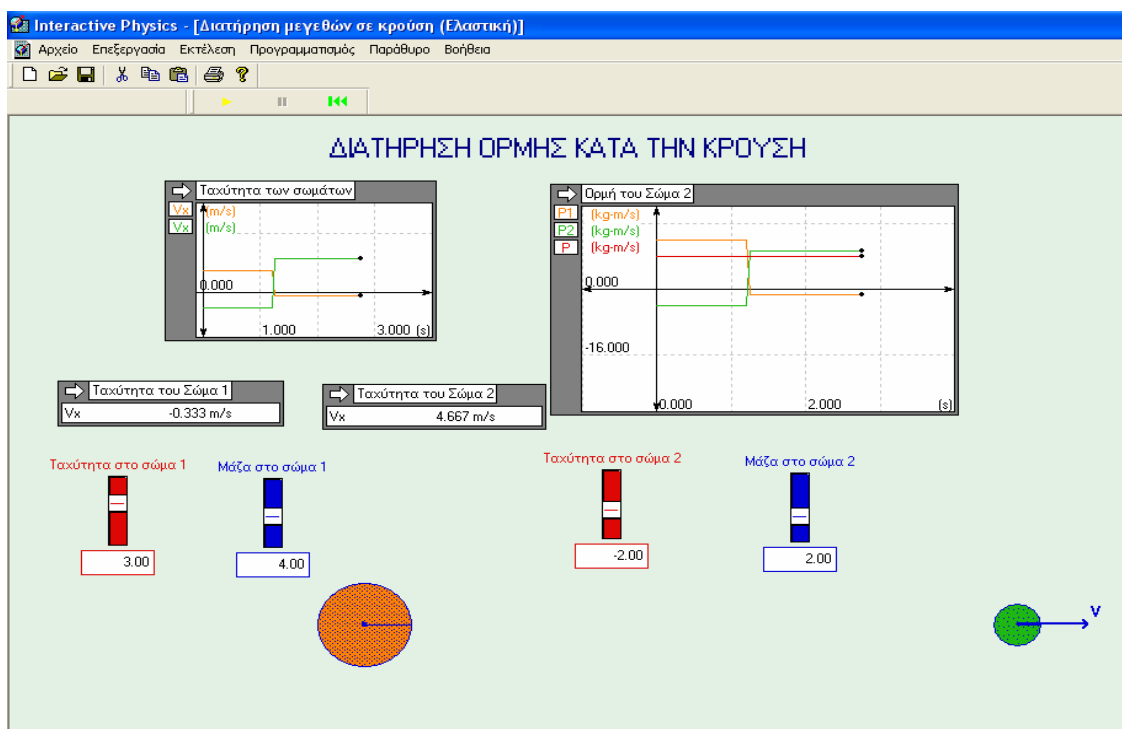
Τα ανωτέρω έγιναν φανερά με τις γραφικές παραστάσεις των εσωτερικών δυνάμεων με το χρόνο. Στο πραγματικό εργαστήριο αυτό δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί.

Πείραμα 2: 'Κεντρική, μετωπική, ελαστική κρούση' (2^{ος} και 3^{ος} διδακτικός στόχος).

Με αυτό το εικονικό πείραμα, (Σχήμα 2), μπορούν να διδαχθούν οι βασικές έννοιες, μεγέθη και αρχές, όπως η ελαστική κρούση, η ορμή (διανυσματικό μέγεθος), η κινητική ενέργεια, η αρχή διατήρησης ορμής (ως άθροισμα διανυσμάτων).

Σε κοινό διάγραμμα εμφανίζονται οι τιμές των ορμών των σωμάτων πριν και μετά την κρούση και η ολική ορμή του συστήματος. Οι θετικές και οι αρνητικές τιμές των ορμών δηλώνουν την κατεύθυνσή τους. Δηλώνεται με αυτόν τον τρόπο ότι το μέγεθος της ορμής είναι διανυσματικό. Γνωρίζοντας τις τιμές των ταχυτήτων πριν και μετά την κρούση, μπορεί να επαληθευτεί από τους μαθητές ότι στην ελαστική κρούση η κινητική ενέργεια των σωμάτων, πριν και μετά την κρούση, παραμένει σταθερή.

Οι σφαίρες κινούνται χωρίς την επίδραση του πεδίου βαρύτητας. Η επιλογή αυτή έγινε επειδή οι μαθητές έχουν τη λανθασμένη άποψη ότι η ορμή και η αρχή διατήρησης της ορμής δεν ισχύουν σε περιοχές εκτός βαρυτικού πεδίου. Επιλέγοντας από το μενού του λογισμικού η κρούση να πραγματοποιείται σε συνθήκες εκτός βαρυτικού πεδίου, δίδεται η δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν ότι η ορμή και η αρχή διατήρησης της ορμής ισχύουν και σε περιοχές εκτός βαρυτικού πεδίου.



Σχήμα 2: Γραφικές παραστάσεις των ταχυτήτων και των ορμών των σωμάτων πριν και μετά την κρούση.

Με την παρατήρηση του φαινομένου των κρούσεων μέσω εικονικών πειραμάτων και την αναπαραγωγή του όσες φορές χρειάζεται, παρέχεται η δυνατότητα να κατανοηθούν οι ανωτέρω έννοιες από τους μαθητές χωρίς τη χρήση μαθηματικών εκφράσεων. Ακόμη οι μαθητές μπορούν έτσι να αποκτήσουν τεκμηριωμένη επιστημονική άποψη και να αναθεωρήσουν τις λανθασμένες απόψεις που έχουν για αυτές και να τις αντικαταστήσουν με τις επιστημονικά αποδεκτές.

Διαδικασία

Στους μαθητές, μετά την κλασική διδασκαλία, δόθηκε το πρώτο ερωτηματολόγιο, αποτελούμενο από 8 ερωτήσεις κλειστού και ανοικτού τύπου. Ο στόχος ήταν να διερευνηθεί κυρίως η κατανόηση της έννοιας της ορμής, η εφαρμογή του 3^{ου} Νόμου του Νεύτωνα στις κρούσεις και η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ορμής. Περίπου δύο εβδομάδες μετά, ακολούθησε η δική μας διδακτική παρέμβαση.

Η διδακτική μας παρέμβαση πραγματοποιήθηκε σε δύο ωριαία μαθήματα στην αίθουσα του εργαστηρίου πληροφορικής του σχολείου, όπου είχε εγκατασταθεί το λογισμικό Interactive Physics 2000 και τα εικονικά πειράματα. Όλοι οι μαθητές είχαν εμπειρία στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Σε κάθε διδακτική ώρα έγινε παρουσίαση 2 εικονικών πειραμάτων από τον καθηγητή και στη συνέχεια το λόγο είχαν οι μαθητές.

Με κάθε εικονικό πείραμα οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν μόνοι τους όλους τους τύπους των κρούσεων. Είχαν τη δυνατότητα να εισάγουν, να καταργήσουν ή και να ρυθμίσουν, μέσω των μετρητών που παρέχονται από το λογισμικό προσομοίωσης, τις τιμές μεταβλητών φυσικών μεγεθών. Ταυτόχρονα οι μαθητές, σε διαμορφωμένα παράθυρα, παρατηρούσαν αμέσως τα αποτελέσματα των μετρήσεων, των υπό μελέτη φυσικών μεγεθών, νόμων ή αρχών διατήρησης σε πίνακες με αριθμητικές τιμές, σε πίνακες με ραβδογράμματα και με γραφικές παραστάσεις.

Μετά τη δεύτερη διδακτική ώρα δόθηκε στους μαθητές και το δεύτερο ερωτηματολόγιο που περιείχε τώρα 10 ερωτήσεις: τις 8 αρχικές με επιπλέον ερώτηση σε κάθε μία αν βοηθήθηκαν από τις προσομοιώσεις και 2 επιπλέον ερωτήσεις, που αφορούσαν στη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή στη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής.

Σαν εργαλείο αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η ταξινομία SOLO των Biggs και Collis. Η ταξινομία SOLO στηρίζεται στη θεωρία βάσει της οποίας η γνώση δομείται σε επίπεδα. Αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο προσδιορισμού του τρέχοντος νοητικού επιπέδου λειτουργίας ενός ατόμου μέσω γραπτών ή προφορικών απαντήσεων του (Μπαρκάτσας κ.α. 2000). Η ταξινομία SOLO αποτελεί εργαλείο για το διδάσκοντα ώστε αυτός να αξιολογήσει σε ποιο βαθμό οι μαθητές κατανόησαν έννοιες, θεωρίες καθώς και τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων. Μπορεί να εφαρμοστεί ανεξαρτήτως γνωστικού αντικείμενου και μας παρέχει τη δυνατότητα να αξιολογήσουμε και να κατηγοριοποιήσουμε τις επιδόσεις των μαθητών.

Στις 5 από τις 8 ερωτήσεις ζητούσαμε και αιτιολόγηση των απαντήσεων. Έτσι αυτές αξιολογήθηκαν ως Σ (σωστό) ή Λ (λάθος), αλλά αξιολογήθηκαν και με την ταξινομία SOLO. Η κατάταξη του κάθε μαθητή στο τελικό επίπεδο SOLO, προέκυψε από το μέσο όρο των επιπέδων SOLO, στα οποία κατετάγη κάθε μία από τις πέντε ερωτήσεις. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στο σχήμα 3.

Έτσι κατατάξαμε τους μαθητές σε επίπεδα, με βάση το βαθμό πολυπλοκότητας της απάντησης, πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση και διαπιστώσαμε τη μετατόπιση των μαθητών από επίπεδο σε επίπεδο. Τα επίπεδα της ταξινομίας είναι τα εξής:

1. Προδομικό (E1)
2. Μονοδομικό (E2)
3. Πολυδομικό (E3)
4. Συσχετιστικό (E4)

5. Εκτεταμένης αφαίρεσης (E5).

Αποτελέσματα

Οι 5 απαντήσεις που αξιολογήθηκαν με βάση την ταξινόμια SOLO πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, δείχνουν ότι οι μαθητές παρουσίασαν σημαντική βελτίωση μετά τη διδακτική παρέμβαση με τις προσομοιώσεις, γιατί απαντούσαν σωστά και αιτιολογούσαν τις απαντήσεις τους. Η βελτίωση αυτή είναι εμφανής σε κάθε μία από τις ερωτήσεις.

Εδώ παρατίθενται πίνακες όπου παρουσιάζεται το πλήθος των σωστών – λανθασμένων απαντήσεων πριν και μετά την παρέμβαση, στην ερώτηση 2 του ερωτηματολογίου, καθώς και το πλήθος των μαθητών σε επίπεδα SOLO, πριν και μετά. Επίσης παρουσιάζεται χαρακτηριστικό παράδειγμα μαθητή, στην ίδια ερώτηση, πριν και μετά την παρέμβαση.

ΕΡΩΤΗΣΗ 2: Μια μικρή σφαίρα εκτοξεύεται εναντίον ενός μεγάλου βράχου ο οποίος είναι ακίνητος. Αν κατά την κρούση, η δύναμη που ασκεί ο βράχος στη μικρή σφαίρα είναι $\vec{F}_{B\phi}$ και η δύναμη που η σφαίρα ασκεί στο βράχο

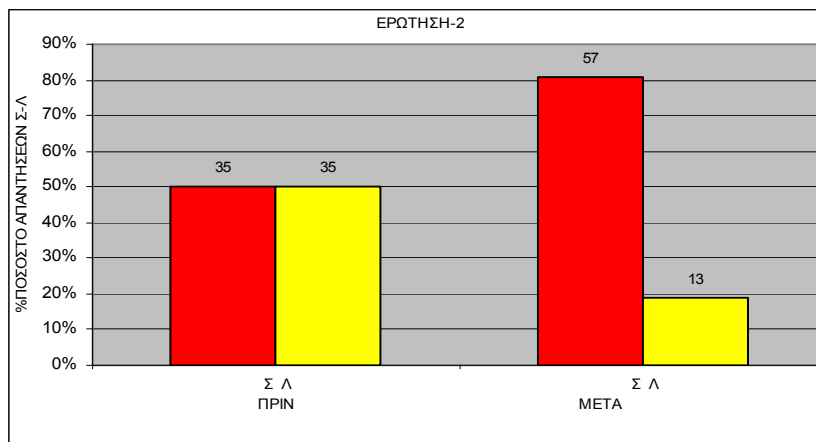
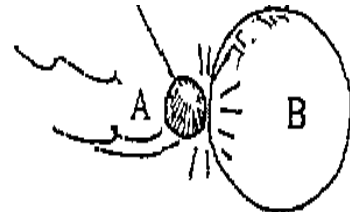
είναι $\vec{F}_{\Sigma\phi}$ τότε ισχύει: α) $\vec{F}_{\Sigma\phi} = -\vec{F}_{B\phi}$ β) $\vec{F}_{\Sigma\phi} > \vec{F}_{B\phi}$

γ) $\vec{F}_{\Sigma\phi} < \vec{F}_{B\phi}$ δ) $\vec{F}_{\Sigma\phi} = \vec{F}_{B\phi}$

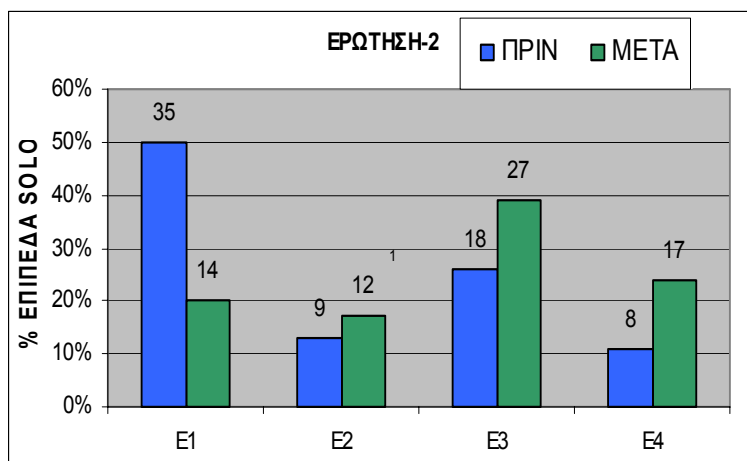
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση. (.....)

Δώστε μια σύντομη απάντηση για την επιλογή σας:

Τι σε βοήθησε από τις προσομοιώσεις για την απάντηση;



Ερώτηση-2	Πλήθος απαντήσεων	
	Πριν	Μετά
Σωστό	35	57
Λάθος	35	13
Σύνολο	70	70



Ερώτηση-2	πλήθος μαθητών σε επίπεδα Solo	
Επίπεδα Solo	Πριν	Μετά
E1	35	14
E2	9	12
E3	18	27
E4	8	17
Σύνολο	70	70

Παράδειγμα απάντησης μαθητή:

Ο Μ47 στο 1^ο ερωτ. απαντά γ, (Λ).

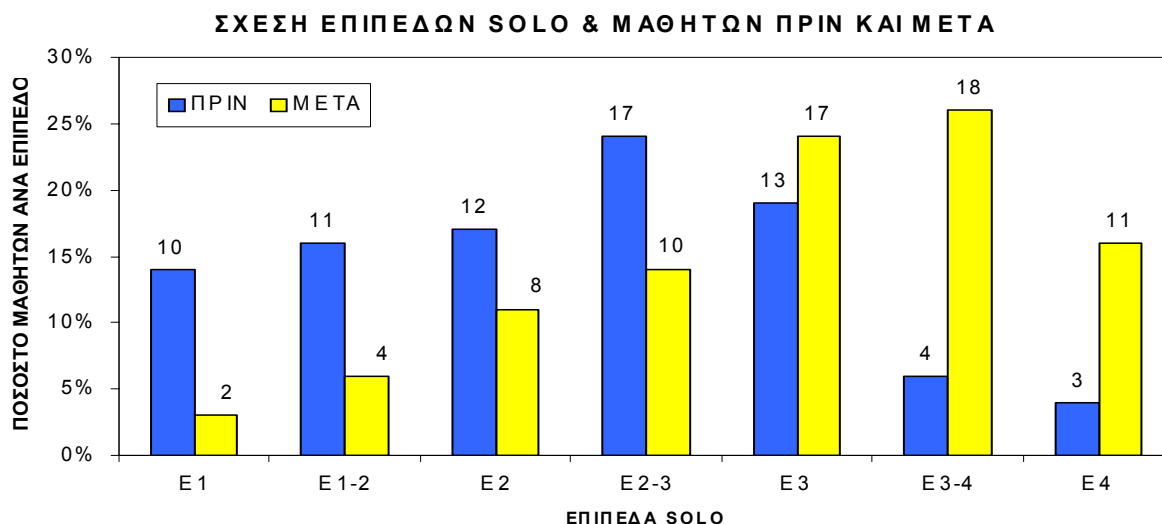
Αιτιολόγηση: ο βράχος ασκεί μεγαλύτερη δύναμη γιατί έχει μεγαλύτερη μάζα.

Ο Μ47 στο 2^ο ερωτ. απαντά α, (Σ).

Αιτιολόγηση: στο βράχο και στη σφαίρα ασκούνται ίσες δυνάμεις, αντίθετης φοράς. Ισχύει ο 3^{ος} νόμος του Νεύτωνα

Τονίζεται ότι υπήρχε ένας σημαντικός αριθμός μαθητών οι οποίοι απαντούσαν σωστά όταν η ερώτηση που τους δίνονταν ήταν του τύπου 'σωστό – λάθος' (δηλωτική γνώση), όταν όμως χρειάζονταν να δικαιολογήσουν την απάντησή τους (διαδικαστική γνώση), απέφευγαν να απαντήσουν ή απαντούσαν λάθος (εμφανίζοντας πλήθος εναλλακτικών απόψεων), ή έδιδαν ελλιπείς απαντήσεις. Μετά τη διδακτική μας παρέμβαση με τις προσομοιώσεις, παρατηρήθηκε αύξηση των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις του τύπου 'σωστό – λάθος', αλλά και μια σαφής αύξηση των σωστά αιτιολογημένων απαντήσεων που δίνονταν από τους μαθητές. Αυτό φάνηκε από τη μετατόπιση των επιπέδων SOLO από χαμηλά σε ανώτερα γνωστικά επίπεδα. Η ταξινομία SOLO έπαιξε σημαντικό ρόλο σ' αυτήν την καταγραφή.

Στο σχήμα 3 δίνονται οι συμβολισμοί E1, E2, E3, E4 που αντιστοιχούν στα 4 πρώτα επίπεδα της ταξινομίας, και οι E1-2, E2-3, E3-4 που αντιστοιχούν στα μεταβατικά στάδια μεταξύ δύο διαδοχικών επιπέδων με τάση προς το αμέσως ανώτερο επίπεδο. Σημειώνεται ότι στο 5^ο επίπεδο, δηλαδή της εκτεταμένης αφαίρεσης, δεν εντάχθηκε κανένας μαθητής. Το φαινόμενο αυτό είναι συνηθισμένο σε θέματα αξιολόγησης στις θετικές επιστήμες διότι για να φτάσει ένας μαθητής στο επίπεδο της εκτεταμένης αφαίρεσης, πρέπει να έχει ολοκληρωμένη άποψη για τα υπό μελέτη θέματα, ώστε να μπορεί να κάνει γενικεύσεις.



Σχήμα 3: Ποσοστά μαθητών ανά επίπεδο SOLO πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση.

Από την καταμέτρηση των μαθητών στα διάφορα επίπεδα, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- 13 μαθητές (19%) παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο.
- 2 μαθητές (3%) μετατοπίστηκαν σε κατώτερα επίπεδα.
- 55 μαθητές (78%) μετατοπίστηκαν σε ανώτερα επίπεδα.

Συνολικά, το 78% των μαθητών μετατοπίστηκε γενικά προς ανώτερα γνωστικά επίπεδα.

Από τα ευρήματα της έρευνας προκύπτει ότι πριν τη διδακτική παρέμβαση μόνο 20 από τους μαθητές (29%) κατετάγησαν από το Πολυδομικό (E3) έως και το Συσχετιστικό (E4) επίπεδο. Αντίθετα, μετά την παρέμβαση, 46 μαθητές κατετάγησαν στα επίπεδα E3 έως και E4, δηλαδή ποσοστό 66%. Παρατηρήθηκε δηλαδή σημαντική μετακίνηση των μαθητών. Ποσοστό 37% μετακινήθηκε προς ανώτερα γνωστικά επίπεδα. Συνεπώς γίνεται φανερό ότι οι μαθητές οδηγήθηκαν από δηλωτική σε διαδικαστική γνώση.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μαθητών ανά επίπεδο με βάση την ταξινόμηση SOLO πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η διδακτική παρέμβαση με τη χρήση προσομοιώσεων, απέδωσε σημαντικά.

Συμπεράσματα

Από τη μελέτη των κρούσεων με την υποστήριξη των προσομοιώσεων κατά τη διδασκαλία, διαπιστώσαμε ότι:

- Μετά τα εικονικά πειράματα, οι λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών αναθεωρήθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό και οι μαθητές οδηγήθηκαν σε οικοδόμηση απόψεων σύμφωνα με τα επιστημονικά πρότυπα.
- Η διδασκαλία με προσομοιώσεις βοήθησε τους μαθητές να ξεπεράσουν τους γνωστικούς περιορισμούς και να εφαρμόσουν με αποτελεσματικότητα τις εμπλεκόμενες έννοιες.

- Η χρήση του λογισμικού Interactive Physics στη δημιουργία αναπαραστάσεων αποτέλεσε ισχυρό υποστηρικτικό εργαλείο και κρίθηκε από τους μαθητές θετική γιατί η καταγραφή φυσικών μεγεθών μέσω γραφικών παραστάσεων τους οδήγησε:

ι) στην κατανόηση των φυσικών μεγεθών

ii) στην ανάπτυξη δεξιοτήτων χειρισμού των γραφικών παραστάσεων

iii) στην κατανόηση της φυσικής σημασίας των γραφικών παραστάσεων.

- Η κοινωνική συμπεριφορά των μαθητών ήταν καλύτερη στο εργαστήριο πληροφορικής παρά στην αίθουσα διδασκαλίας.

Γενικά, φαίνεται ότι η χρήση των προσομοιώσεων σε ένα ανοικτό πληροφορικό περιβάλλον, όπως το I.P., αποτελεί ένα ισχυρό υποστηρικτικό εργαλείο στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, γιατί δημιουργεί ένα περιβάλλον που υπακούει στους νόμους και περιορισμούς της Κλασικής Μηχανικής.

Παραπομπές

- Κολοκοτρώνης Δ., Σολομωνίδου Χ. (2002), Χρήση στην Τάξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού Παρουσιάσεων για Εποικοδομητική Διδασκαλία της Νευτώνειας Δυναμικής, Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου ΕΤΠΕ, Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση, 335-344, Ρόδος.
- Μικρόπουλος Τ. (2006), Ο Υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο, Αθήνα: ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ.
- Μπαρκάτσας Α., Κολέζα Ε., Ρίζος Γ., Σκορδούλης, Κ. (2000), Εξ αποστάσεως αξιολόγηση στα μαθηματικά και στις φυσικές επιστήμες με βάση την ταξινόμια SOLO, Πρακτικά Β' Πανελληνίου συνεδρίου, Οι Νέες Τεχνολογίες για την κοινωνία και τον Πολιτισμό, 32-43, Αθήνα
- ΥΠΕΠΘ (2005), Βιβλίο του Καθηγητή, Α' Τάξης Εν. Λυκείου.
- ΥΠΕΠΘ (2005), Βιβλίο του Καθηγητή, Γ' Τάξης Εν. Λυκείου Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης.
- Bao L., Zollman D, Hogg K. & Redish E. G. (2002), Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law, American Journal of Physics, 70, 766-778.
- Brown E. D. (1989), Students' concept of force: The importance of understanding Newton's third law, Physics Education, 24, 353-358.
- Esquembre F., Computers in Physics education (2002), Computer Physics Communications, 147, 13-18.
- Gauld C. (1999), Using Colliding Pendulums to teach Newton's Third Law, Physics Teacher 37, 116-119.
- Hake R. (1998), Interactive- engagement vs traditional methods: A six-thousand survey of mechanics test data for introductory physics courses, American Journal of Physics, 66, 64-74.
- Halloun I. and Hestenes D. (1985), Common sense concepts about motion, American Journal of Physics, 53, 1056-1065.
- Helligman C. (1992), Newton's third law revisited, Physics Education, 27, 112-115.
- Hartel H. (2000), xyZET: A Simulation Program for Physics Teaching, Journal of Science Education and Technology, 9(3), 275-286.
- Jiménez J. D. & Perales F. J. (2001), Graphic representation of force in secondary education: Analysis and alternative educational proposals, Physics Education, 36, 227-235.
- Jimoyiannis A., Komis V. (2001), Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion, Computers & Education 36, 183-204.
- Lawson R., McDermott L.(1987), Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems, American Journal Physics 55 (9), 811-817
- Malclesaac D. (2004), Web Sight, The Physics Teacher, 42, 510.
- Montanero M., Perez L. and Suero M. I. (1995), A survey of students' understanding of colliding bodies, Physics Education, 30, 277-283.
- Norman D., (1999), Reality and Theory in a Collision, Physics Teacher, 37, 24-27.
- Richards J., Barowy W., Levin D. (1992), Computer Simulations in the Science Classroom, Journal of Science Education and Technology, 1(1), 67-79.

- Savinainen A., Scott P., Viiri J. (2004), Using a Bridging Representation and Social Interactions to Foster Conceptual Change: Designing and Evaluating an Instructional Sequence for Newton's Third Law, Wiley Periodicals, Inc. *Science Education*, 89, 175-195.
- Steinberg R. N., Oberem G. E. and McDermott L. C. (1996), Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect, *American Journal of Physics*, 64, 1370-1379.
- Singh C. and Rosengrant D. (2003), Multiple – choice test of energy and momentum concepts, *American Journal of Physics*, 71(6), 607-617.
- Terry C. & Jones G. (1986), Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, 291-298.