



Η διδασκαλία της σχετικότητας του Γαλιλαίου και της σχετικής περιστροφικής κίνησης σε φοιτητές Παιδαγωγικού τμήματος

Ευαγγελοπούλου Α., Μίχας Π.

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης
anevag@otenet.gr, pmichas@eled.dyth.gr

Στην εργασία αυτή διερευνάται σε ποιο βαθμό οι έννοιες και οι νόμοι της σχετικότητας του Γαλιλαίου μπορούν να γίνουν κατανοητοί –πρακτικοί και εφαρμόσιμοι από τους δευτεροετείς φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε προέλεγχος με ερωτηματολόγιο, διδασκαλία με φύλλα εργασίας και μεταέλεγχος με ερωτηματολόγια. Η διδασκαλία εστιάστηκε στη μελέτη: 1. των αδρανειακών και μη αδρανειακών συστημάτων αναφοράς, 2. της σχετικής κίνησης (μετασχηματισμός ταχυτήτων), 3. των αδρανειακών δυνάμεων – ψευδοδυνάμεων (φυγόκεντρος, Coriolis) 4. του ρόλου της τριβής στη σχετική περιστροφική κίνηση σώματος (για αδρανειακό και μη αδρανειακό παρατηρητή). Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι η διδασκαλία βοήθησε τους φοιτητές να κατανοήσουν τη σχετική κίνηση, να υπολογίζουν σχετικές ταχύτητες, να αντιληφθούν ότι διαφορετικοί παρατηρητές (αδρανειακός και μη αδρανειακός) όταν μελετούν το ίδιο φαινόμενο (κίνηση σώματος), καταγράφουν διαφορετικές τροχιές και διαφορετικές δυνάμεις.

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες από ερευνητές να εισαχθεί η Σύγχρονη Φυσική (μη Γραμμικά συστήματα, Κβαντική Φυσική) στα Λύκεια (Σταύρου 2004). Οι προσπάθειες αυτές μας παρότρυναν να επιχειρήσουμε τη διδασκαλία της σχετικότητας του Γαλιλαίου- που είναι η βάση για την ειδική θεωρία της σχετικότητας του Einstein - σε φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος που είναι πιο ώριμοι από τους μαθητές Λυκείου.

Σχετικά με το θέμα αυτό έχουν ασχοληθεί και άλλοι ερευνητές, οι οποίοι διερεύνησαν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών (ή φοιτητών) για τα συστήματα αναφοράς, τις ψευδοδυνάμεις και πώς αυτοί αντιμετωπίζουν τους μετασχηματισμούς της θέσης, χρόνου, ταχύτητας και ενέργειας από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο (Panse et al 1994, Ramadas et al. 1996 α και β, Galili & Kaplan 1997). Οι ιδέες τους ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες και μερικές από αυτές χρησιμοποιήθηκαν και στη δική μας έρευνα: 1. Τα συστήματα αναφοράς αντιμετωπίζονται ως συγκεκριμένα αντικείμενα (Αν το σώμα με το οποίο είναι συνδεδεμένο το σύστημα αλλάζει πορεία ή χωρίζεται σε δύο μέρη τότε και το σύστημα αλλάζει πορεία ή χωρίζεται στα δύο, αντίστοιχα). 2. Η φυγόκεντρος δύναμη δρα σε περιστρεφόμενα σώματα (ως αντίδραση της κεντρομόλου δύναμης). 3. Οι μαθητές δεν μπορούν να θεωρήσουν το διανυσματικό άθροισμα μεταξύ μίας πραγματικής δύναμης (π.χ. τάση, τριβή) και μίας ψευδοδύναμης.

Επιπλέον, σε προγενέστερη έρευνά μας (Μίχας 2002), η πλειονότητα των φοιτητών θεώρησε ότι η τριβή σε περιστρεφόμενο σώμα κατευθύνεται αντίθετα προς την ταχύτητα (και όχι προς τα κοίλα της τροχιάς) και εμφάνισε αδυναμία να προβλέψει την τροχιά σώματος που κινείται πάνω σε περιστρεφόμενο δίσκο (για αδρανειακό και μη αδρανειακό παρατηρητή). Το συμπέρασμα ότι η τριβή στην περίπτωση των σχετικών κινήσεων οδηγεί σε αποτελέσματα που δεν αναμένονται από τους φοιτητές, διότι θα πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητή η έννοια της σχετικής κίνησης και της σχετικής ταχύτητας, αποτέλεσε σημαντικό στοιχείο στο σχεδιασμό της διδασκαλίας στην παρούσα έρευνά μας.

Μεθοδολογία

Σκοπός της έρευνας

Οι στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν: α) Η διερεύνηση των εναλλακτικών ιδεών των φοιτητών για τη σχετική περιστροφική κίνηση, β) ο σχεδιασμός και η πραγματοποίηση της διδακτικής παρέμβασης και γ) ο έλεγχος και η καταγραφή των αλλαγών των ιδεών των φοιτητών που μπορεί να προκλήθηκαν από τη διδακτική παρέμβαση.

Μέσα της έρευνας

Η ερευνητική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις: προ-τεστ, διδασκαλία με φύλλα εργασίας και μετα-τεστ. Μετά την πραγματοποίηση των τεστ έγινε κωδικοποίηση των απαντήσεων σε 4 διατάξιμες (ordinal) κατηγορίες : «διάφορες=1», «εναλλακτικές=2», «ελλιπείς=3» και «επιστημονικά αποδεκτές=4» και η επεξεργασία διενεργήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS v.12. Για τη διερεύνηση πιθανά στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των δύο τεστ χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό στατιστικό τεστ για διατάξιμα δεδομένα Kendall's tau-b (διορθωμένο για δεσμούς).

Δείγμα

Το πεδίο έρευνάς μας ήταν 46 φοιτητές (40 κορίτσια, 6 αγόρια), οι περισσότεροι δευτεροετείς, του Π.Τ.Δ.Ε. Αλεξανδρούπολης. Στο τρίτο εξάμηνο οι φοιτητές διδάσκονται στα πλαίσια του μαθήματος «Αρχές Φυσικής» το βιβλίο των L. Mc Dermott & P. Shaffer «Μαθήματα εισαγωγικής Φυσικής». Την περίοδο που διεξήχθη η έρευνά μας, οι φοιτητές είχαν ήδη διδαχθεί τη Μηχανική (Κινηματική-Νόμοι του Νεύτωνα-Ενέργεια και Ορμή-Περιστροφική Κίνηση). Ιδιαίτερα για τις καμπυλόγραμμες κινήσεις είχε γίνει εκτενής αναφορά στα εξής σημεία: α) Για να κινηθεί ένα σώμα σε καμπύλη τροχιά θα πρέπει να ασκείται πάνω του συνισταμένη δυνάμεων διάφορη του μηδενός, β) Η επιτάχυνση έχει κατεύθυνση προς τα κοίλα της τροχιάς και γ) Η επιτάχυνση αναλύεται σε επιτρόχια που αλλάζει το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας του σώματος και κεντρομόλο που αλλάζει την κατεύθυνση του διανύσματος της ταχύτητας.

Διαδικασία

Ο προέλεγχος

Πριν από τη διδασκαλία δόθηκε στους φοιτητές ένα προ-τεστ με ερωτήσεις, που αφορούσαν κυρίως τη σχέση της τριβής με τη σχετική κίνηση. Το πρώτο μέρος κάθε ερώτησης ήταν ένα ερώτημα πολλαπλής επιλογής και στο δεύτερο μέρος ζητούσαμε από τους φοιτητές να δικαιολογήσουν την απάντηση που είχαν επιλέξει. Οι ερωτήσεις που τέθηκαν αναγράφονται στα «αποτελέσματα της έρευνας».

Ο σχεδιασμός της διδακτικής παρέμβασης

Με βάση: α) τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το προ-τεστ και β) τις εναλλακτικές απόψεις των μαθητών/ φοιτητών από τη διεθνή βιβλιογραφία, σχεδιάστηκαν οι ερωτήσεις του φύλλου εργασίας για τους φοιτητές (Alonso & Finn 1980, Ford). Οι ερωτήσεις αυτές εξυπηρετούν διδακτικούς στόχους, μερικοί από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω:

1. Να εισαχθούν οι φοιτητές στην έννοια της σχετικής κίνησης μέσα από παραδείγματα της καθημερινής ζωής (κίνηση επιβάτη μέσα σε τρένο).
2. Να μπορούν να διακρίνουν τα αδρανειακά από τα μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς και να αναφέρουν παραδείγματα.
3. Να μπορούν να εφαρμόζουν το μετασχηματισμό ταχυτήτων του Γαλιλαίου σε αριθμητικά παραδείγματα της καθημερινής ζωής (βάρκα που παρασύρεται από το ρεύμα ποταμού, συνάντηση κινητών).
4. Να αντιληφθούν ότι το ίδιο φαινόμενο περιγράφεται με διαφορετικό τρόπο από αδρανειακούς παρατηρητές (βόμβα που πέφτει από αεροπλάνο).



5. Να εισάγουν τις ψευδοδυνάμεις ως αναγκαίες προκειμένου να ισχύει ο 2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα στα μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς (τίναγμα επιβάτη προς τα πίσω στο ξεκίνημα αυτοκινήτου, εκσφενδονισμός επιβάτη προς τα έξω σε στροφή).
6. Να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους για την τριβή, την κεντρομόλο δύναμη και τη φυγόκεντρο σε παραδείγματα (αυτοκίνητο που στρίβει).
7. Να ανακαλύψουν την ύπαρξη μίας ψευδοδύναμης (δύναμη Coriolis) προκειμένου να εξηγήσουν την καμπύλωση της τροχιάς σώματος που εκτοξεύεται σε περιστρεφόμενο δίσκο, όταν ήδη πάνω στο σώμα ασκείται η τριβή και η φυγόκεντρος δύναμη (για μη αδρανειακό παρατηρητή).
8. Να κατανοήσουν το διαφορετικό ρόλο της τριβής, που ασκείται σε σώμα πάνω σε περιστρεφόμενο δίσκο, για αδρανειακό και μη αδρανειακό παρατηρητή.

Η πραγματοποίηση της διδακτικής παρέμβασης

Υπήρχαν τρία τμήματα φοιτητών και σε κάθε τμήμα οι φοιτητές ήταν χωρισμένοι σε ομάδες (3-4 ατόμων). Σε κάθε τμήμα πραγματοποιήθηκαν δύο δίωρες διδασκαλίες.

Τα θέματα που πραγματεύονταν οι ερωτήσεις του φύλλου εργασίας συνδέονταν με τις καθημερινές εμπειρίες των φοιτητών έτσι ώστε να επισημαίνεται η αμεσότητα τέτοιων εμπειριών. Ο σκοπός της συζήτησής μας με τους φοιτητές ήταν να τους βοηθήσουμε να συνειδητοποιήσουν πως οι δικές τους εμπειρίες εκτός τάξης αποτελούν αυθεντική συνεισφορά στην επιστημονική γνώση.

Οι φοιτητές είχαν ενεργητικό ρόλο μέσα στις ομάδες τους. Σκέφτονταν την ερώτηση, συζητούσαν την απάντηση με τους διπλανούς τους και την κατέγραφαν. Έπειτα την ανακοίνωναν στην τάξη και επακολουθούσε συζήτηση μεταξύ φοιτητών και ερευνήτριας για την ορθή απάντηση (Knight 2004, Grouch & Mazur 2001).

Οικοδομήσαμε ένα παιδαγωγικό κλίμα που μείωνε την ανασφάλεια των φοιτητών, διαβεβαιώνοντάς τους ότι οι λανθασμένες απαντήσεις μπορούσαν να αποβούν και ωφέλιμες. Προτρέψαμε τους φοιτητές να εμπλακούν σε συζήτηση- διάλογο έτσι ώστε να αναπτύξουν την κριτική τους σκέψη.

Αφού εξασφαλίσαμε τη θετική τους στάση, επιχειρήσαμε να τους βοηθήσουμε να αναπτύξουν αποτελεσματικές δεξιότητες στην επίλυση προβλημάτων (Knight 2004), δηλαδή να ασκηθούν στα βήματα μίας προτεινόμενης στρατηγικής αρχικά σε κάθε ένα ξεχωριστά και στη συνέχεια στο πλαίσιο της επίλυσης ενός πλήρους προβλήματος.

Κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας προβάλλαμε διαφάνειες με τη θεωρία και τα συμπεράσματα των ερωτήσεων του φύλλου εργασίας. Οι διαφάνειες μοιράστηκαν στους φοιτητές μετά το πέρας της διδασκαλίας, για να τις μελετήσουν.

Ο μεταέλεγχος

Πραγματοποιήθηκε ένα μήνα μετά τη διδακτική παρέμβαση, σε δείγμα 40 φοιτητών που εμφανίστηκαν (απουσίασαν 6). Οι ερωτήσεις ήταν όλες ανοικτού τύπου, δηλαδή οι φοιτητές δεν είχαν τη δυνατότητα της πολλαπλής επιλογής του προ-τεστ, κινδυνεύοντας έτσι να αυξήσουμε τον αριθμό των φοιτητών που δε θα έδιναν καμία απάντηση, πράγμα που συνέβη, όπως φαίνεται στους πίνακες. Εσκεμμένα αποφύγαμε να συμπίπτει το περιεχόμενο των ερωτήσεων του μετα-τεστ με το αντίστοιχο του προ-τεστ (αλλά και του φύλλου εργασίας) διότι θέλαμε με αυτό να αποκλείσουμε τη μίμηση ως παράμετρο που παρεμβαίνει στη διαδικασία (Καρανίκας 1996) και κατά συνέπεια οι φοιτητές να υποχρεώνονται να εφαρμόσουν τις νέες παραστάσεις σε διαφορετικές καταστάσεις από τις αρχικές. Στην προσπάθειά μας αυτή είναι δυνατό ο βαθμός δυσκολίας μερικών ερωτήσεων στο μετα-τεστ να ήταν μεγαλύτερος από ό,τι στο προ-τεστ.

Οι ερωτήσεις του μετα-τεστ που αντιστοιχούν στο προ-τεστ αναγράφονται στα «αποτελέσματα της έρευνας». Στο μετα-τεστ συμπεριελήφθησαν και άλλες ερωτήσεις (1-6 και 11-12), για τις οποίες δεν είχε γίνει προέλεγχος, προκειμένου να ελεγχθεί σε ποιο βαθμό επιτεύχθηκαν οι διδακτικοί στόχοι.

Τα αποτελέσματα της έρευνας

Παρουσιάζουμε κάθε ερώτηση που δόθηκε στο προ-τεστ μαζί με την αντίστοιχη του μετα-τεστ. Στους επόμενους πίνακες καταγράφονται οι κατηγορίες των απαντήσεων των φοιτητών στα δύο τεστ με τις απόλυτες (f) και σχετικές συχνότητές τους (%).

Ερώτηση 1Α του προ-τεστ: Ένα αυτοκίνητο κάνει ομαλή κυκλική κίνηση με γωνιακή ταχύτητα ω , σε στροφή. Ποια δύναμη αναγκάζει το σώμα να κινηθεί σε κυκλική τροχιά;

Ερώτηση 7 του μετα-τεστ: Ένας ποδηλάτης, για να κινείται σε κυκλική οριζόντια τροχιά γέρνει το σώμα του σχηματίζοντας γωνία ω ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Εάν θεωρήσουμε το ποδήλατο με τον ποδηλάτη ως ένα σώμα, ποια δύναμη αναγκάζει το σώμα να κινηθεί σε κυκλική τροχιά; Το επίπεδο δεν είναι λείο.

Πίνακας 1. Κατανομή των απαντήσεων των 46 φοιτητών στην ερώτηση 1Α του προ-τεστ και 40 φοιτητών στην ερώτηση 7 του μετα-τεστ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ | προ-τεστ | | μετα-τεστ | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-----------|------|
| | f | % | f | % |
| 1. Διάφορες (Δεν απαντούν/ μη κατατάξιμες) | 2 | 4,3 | 6 | 15 |
| Εναλλακτικές | | | | |
| 2. Το βάρος (η τριβή έχει αντίθετη κατεύθυνση από την ταχύτητα) | 5 | 10,9 | 3 | 7,5 |
| 3. Η δύναμη από το έδαφος (σχεδιάζουν την τριβή κάθετη στην ακτίνα) | 1 | 2,2 | - | - |
| 4. Η συνισταμένη του βάρους και της τριβής (δε δικαιολογούν/ σχεδιάζουν τη συνισταμένη προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς/ την τριβή κάθετη στην ακτίνα και στο βάρος) | 13 | 28,3 | - | - |
| 5. Η κεντρομόλος δύναμη (σχεδιάζουν την κεντρομόλο κάθετη στην ταχύτητα ή προς το κέντρο ή προς τα έξω της τροχιάς) | 12 | 26,1 | 7 | 17,5 |
| Ελλιπείς | | | | |
| 6. (προ-τεστ) Η τριβή (δε δικαιολογούν/ σχεδιάζουν την τριβή ομόρροπη ή αντίρροπη της ταχύτητας) /(μετα-τεστ) η τριβή (τη σχεδιάζουν προς τα έξω της τροχιάς ή δε τη σχεδιάζουν κάθετη στο βάρος) | 10 | 21,7 | 13 | 32,5 |
| Επιστημονικά αποδεκτές | | | | |
| 7. Η τριβή (σωστή δικαιολόγηση) | 3 | 6,5 | 11 | 27,5 |
| Συνολικό δείγμα | 46 | 100 | 40 | 100 |

Από τον πίνακα 1 προκύπτει ότι πριν τη διδασκαλία ένα ποσοστό 26,1% θεωρούν ότι η κεντρομόλος δύναμη είναι μία επιπλέον δύναμη που ασκείται στο σώμα εκτός των υπολοίπων (π.χ. τριβής, βάρους) καθώς και ένα ποσοστό 60,9% σχεδιάζουν την τριβή συγγραμμική με την ταχύτητα. Οι λανθασμένες ιδέες των φοιτητών (διάφορες και εναλλακτικές) ανέρχονται σε ποσοστό 71,8 % πριν τη διδασκαλία που μειώνεται στο 40%. Το ποσοστό των φοιτητών που έχουν ελλιπείς ιδέες αυξάνεται μετά τη διδασκαλία, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν πολύ εύκολα να μεταποπιστούν προς την επιστημονική άποψη, καθώς και των επιστημονικά αποδεκτών απαντήσεων από 6,5% σε 27,5%.



Ερώτηση 1B του προ-τεστ: Ένα αυτοκίνητο κάνει ομαλή κυκλική κίνηση σε στροφή. Εάν το οδόστρωμα σε κάποιο σημείο είναι παγωμένο τι τροχιά θα ακολουθήσει το αυτοκίνητο, όπως την αντιλαμβάνεται ένας ακίνητος παρατηρητής;

Ερώτηση 8 του μετα-τεστ: Ένα αυτοκίνητο κινείται σε κυκλική γέφυρα. Όταν φτάνει στην κορυφή της γέφυρας, εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητάς του, χάνει την επαφή με τη γέφυρα δηλαδή η δύναμη από τη γέφυρα μηδενίζεται. Εάν η απαραίτητη κεντρομόλος δύναμη για να εκτελέσει την κυκλική τροχιά είναι 25.000N ενώ το βάρος του αυτοκινήτου είναι 20.000 N, τι τροχιά θα ακολουθήσει το αυτοκίνητο, όπως την αντιλαμβάνεται ένας ακίνητος παρατηρητής και γιατί; (Τριβές αμελητέες)

Πίνακας 2. Κατανομή των απαντήσεων των 46 φοιτητών στην ερώτηση 1B του προ-τεστ και 40 φοιτητών στην ερώτηση 8 του μετα-τεστ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ | προ-τεστ | | μετα-τεστ | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-----------|------|
| | f | % | f | % |
| 1. Διάφορες (Δεν απαντούν/ Μη κατατάξιμες) | - | - | 6 | 15 |
| Εναλλακτικές | | | | |
| 2. Συνεχίζει την κυκλική τροχιά του | 1 | 2,2 | 2 | 5 |
| 3. Ευθύγραμμη, ακτινικά προς τα έξω (δε δικαιολογούν/ γλιστράει και ξεφεύγει από την πορεία) | 26 | 56,5 | 1 | 2,5 |
| 4. Άλλη τροχιά (ελλειπτική, καμπυλόγραμμη, ακινησία) | - | - | 3 | 7,5 |
| Ελλιπείς | | | | |
| 5. Σωστή απάντηση, ανεπαρκής δικαιολόγηση | 10 | 21,7 | 19 | 47,5 |
| Επιστημονικά αποδεκτές | | | | |
| 6. Ευθύγραμμη, θα κινηθεί στην εφαπτόμενη της κυκλικής τροχιάς (σωστή δικαιολόγηση) | 9 | 19,6 | 9 | 22,5 |
| Συνολικό δείγμα | 46 | 100 | 40 | 100 |

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι πριν τη διδασκαλία, μεγάλο ποσοστό 56,5% προβλέπει λανθασμένα ότι η τροχιά που θα ακολουθήσει το αυτοκίνητο, αν δεν υπάρχει τριβή, θα είναι ακτινική προς τα έξω της στροφής, ίσως γιατί παρασύρονται από την προσωπική τους εμπειρία ως επιβάτες σε αυτοκίνητο που στρίβει. Ένα καλό ποσοστό 21,7% απαντάει ορθά αλλά δεν είναι σε θέση να δικαιολογήσει (δεν μπορούν να εφαρμόσουν τον 1^ο Νόμο του Νεύτωνα). Μετά τη διδασκαλία 70% των φοιτητών έχουν ελλιπείς ή επιστημονικά αποδεκτές απαντήσεις, ενώ πριν ήταν 41,3%.

Ερώτηση 1Γ του προ-τεστ: Ένα αυτοκίνητο κάνει ομαλή κυκλική κίνηση σε στροφή. Εάν το οδόστρωμα σε κάποιο σημείο είναι παγωμένο, τι τροχιά θα ακολουθήσει το αυτοκίνητο, όπως την αντιλαμβάνεται ένας περιστρεφόμενος παρατηρητής (άνθρωπος που κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω πάνω στο δρόμο);

Ερώτηση 9 του μετα-τεστ: Ένα σώμα περιστρέφεται σε κυκλική τροχιά πάνω σε οριζόντιο επίπεδο. Το σώμα είναι δεμένο με νήμα από ακλόνητο σημείο O. Κάποια στιγμή το νήμα κόβεται. Τι τροχιά θα ακολουθήσει το σώμα, όπως την αντιλαμβάνεται ένας περιστρεφόμενος παρατηρητής; (Τριβές αμελητέες).

Πίνακας 3. Κατανομή των απαντήσεων των 46 φοιτητών στην ερώτηση 1Γ του προ-τεστ και των 40 φοιτητών στην ερώτηση 9 του μετα-τεστ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ | προ-τεστ | | μετα-τεστ | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-----------|------|
| | f | % | f | % |
| 1. Διάφορες (Δεν απαντούν / Μη κατατάξιμες) | 2 | 4,3 | 6 | 15 |
| Εναλλακτικές | | | | |
| 2. Είναι ακίνητο (ο παρατηρητής περιστρέφεται όπως το σώμα) | 5 | 10,9 | - | - |
| 3. Ευθύγραμμη, ακτινικά προς τα έξω | 11 | 23,9 | - | - |
| 4. Κυκλική (κινείται ο παρατηρητής μαζί με το σώμα) | 12 | 26,1 | 4 | 10 |
| 5. Άλλη τροχιά (καμπύλη, ευθεία εφαπτόμενη της κυκλικής) | - | - | 9 | 22,5 |
| Ελλιπείς | | | | |
| 6. Ελικοειδή (δε δικαιολογούν) | 15 | 32,6 | 17 | 42,5 |
| Επιστημονικά αποδεκτές | | | | |
| 7. Ελικοειδή (ο περιστρεφόμενος παρατηρητής βλέπει το σώμα να περιστρέφεται αντίθετα από αυτόν, ενώ το σώμα κινείται ευθεία) | 1 | 2,2 | 4 | 10 |
| Συνολικό δείγμα | 46 | 100 | 40 | 100 |

Οι ερωτήσεις αυτές (1Γ και 9) μελετούν το ίδιο φαινόμενο με τις προηγούμενες (1Β και 8), αλλά όπως το αντιλαμβάνεται ένας περιστρεφόμενος παρατηρητής (μη αδρανειακός). Τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα, μόνο ένας φοιτητής πρόβλεψε και δικαιολόγησε σωστά την ελικοειδή τροχιά στο προ-τεστ. Μετά τη διδασκαλία το ποσοστό που προβλέπει σωστά την τροχιά ανέρχεται σε 52,5% , έναντι του 34,8% που ήταν πριν (πίνακας 3).

Ερώτηση 2 του προ-τεστ: Ένας δίσκος περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω , κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Ένα σώμα που βρίσκεται πάνω στο δίσκο (σημείο Α) και σε απόσταση R από το κέντρο του, εκτοξεύεται προς τα δεξιά με ταχύτητα $v = \omega R$ κάθετα στην ακτίνα. Ανάμεσα στο δίσκο και στο σώμα υπάρχει τριβή. Α) Ποια είναι η κατεύθυνση της τριβής που ασκείται από το δίσκο στο σώμα σε κάθε σημείο της τροχιάς του; Β) Τι τροχιά θα ακολουθήσει το σώμα, όπως την αντιλαμβάνεται ένας ακίνητος παρατηρητής; Γ) Τι τροχιά θα ακολουθήσει το σώμα, όπως την αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής που περιστρέφεται με τη γωνιακή ταχύτητα του δίσκου;

Δ) Ποιο είναι το πρόσημο του έργου της τριβής που ασκείται στο σώμα για τον ακίνητο και τον περιστρεφόμενο παρατηρητή;

Ερώτηση 10 του μετα-τεστ: Πάνω σε οριζόντιο δίσκο και σε απόσταση d από το κέντρο του, εκτοξεύεται, προς τ' αριστερά, σώμα με ταχύτητα κάθετη στην ακτίνα. Ο δίσκος περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα που περνάει από το κέντρο του, με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω , αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Ανάμεσα στο δίσκο και στο σώμα υπάρχει τριβή. Α) Τι τροχιά θα ακολουθήσει το σώμα, ως προς ακίνητο παρατηρητή και γιατί; Β) Σχεδιάστε την τροχιά και σε τυχαίο σημείο της να σχεδιάσετε τα διανύσματα των γραμμικών ταχυτήτων του σώματος v_s και του δίσκου v_d . Στη συνέχεια να σχεδιάσετε το διάνυσμα της τριβής που ασκείται από το δίσκο στο σώμα και να το δικαιολογήσετε. Γ) Τι τροχιά θα ακολουθήσει το σώμα ως προς περιστρεφόμενο παρατηρητή (που περιστρέφεται μαζί με το δίσκο) και γιατί; Δ) Ποια είναι η κατεύθυνση της τριβής που ασκείται στο σώμα, για τον περιστρεφόμενο παρατηρητή και γιατί; Ποιο είναι το αποτέλεσμα που επιφέρει στην κίνηση του σώματος η τριβή για τον ακίνητο και ποιο για τον περιστρεφόμενο παρατηρητή (να χρησιμοποιήσετε και την απάντησή σας στο ερώτημα 10Β).

**Πίνακας 4.** Κατανομή των απαντήσεων των 46 φοιτητών στην ερώτηση 2Α του προ-τεστ και των 40 φοιτητών στην ερώτηση 10Β του μετα-τεστ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ | προ-τεστ | | μετα-τεστ | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|-----------|------|
| | f | % | f | % |
| Η τριβή είναι : | | | | |
| 1. Διάφορες (Δεν απαντούν / Μη κατατάξιμες) | - | - | 17 | 42,5 |
| Εναλλακτικές | | | | |
| 2. αντίθετη από την ταχύτητα του σώματος (δε δικαιολογούν/ γιατί η τριβή αντιστέκεται στην ταχύτητα) | 17 | 37 | 4 | 10 |
| 3. ακτινική, με φορά προς το κέντρο (δε δικαιολογούν/ γιατί η τριβή είναι η κεντρομόλος δύναμη) | 9 | 19,6 | 1 | 2,5 |
| 4. ακτινική, με φορά προς το έξω μέρος του δίσκου | 7 | 15,2 | 1 | 2,5 |
| 5. Άλλη κατεύθυνση (εφαπτόμενη της τροχιάς) | - | - | 4 | 10 |
| Ελλιπείς | | | | |
| 6. Σωστή απάντηση, ανεπαρκής δικαιολόγηση | 12 | 26,1 | 4 | 10 |
| Επιστημονικά αποδεκτές | | | | |
| 7. αντίθετη προς τη σχετική κίνηση του σώματος ως προς το δίσκο (στο προ-τεστ: γιατί η κίνηση του σώματος είναι σχετική / στο μετα-τεστ: σχεδιάζουν σωστά τα διανύσματα v_a , v_b , σχετικής ταχύτητας $v_{a,b}$ και T) | 1 | 2,2 | 9 | 22,5 |
| Συνολικό δείγμα | 46 | 100,1 | 40 | 100 |

Με τις ερωτήσεις αυτές στόχος μας είναι να ανιχνεύσουμε αν οι φοιτητές μπορούν να υποθέσουν ότι η τριβή θα αντιστέκεται στη σχετική κίνηση του σώματος πάνω στο δίσκο. Όπως φαίνεται στον πίνακα 4, ποσοστό 37% υποστηρίζει ότι η τριβή έχει αντίθετη κατεύθυνση από την ταχύτητα του σώματος, που μειώνεται στο 10%. Επιπλέον αυξάνονται οι επιστημονικές απαντήσεις από 2,2% σε 22,5%, αλλά δυστυχώς το ποσοστό αυτών που δεν απαντούν στο μετα-τεστ ανέρχεται σε 42,5% λόγω της δυσκολίας της ερώτησης (σχεδιασμός σχετικής ταχύτητας με αφαίρεση διανυσμάτων).

Με τις ερωτήσεις 2Β και 2Γ (αντίστοιχα 10Α και 10Γ στο μετα-τεστ) προσπαθούμε να δούμε αν μπορούν να φανταστούν οι φοιτητές την τροχιά που θα ακολουθήσει το σώμα πάνω στο δίσκο, όπως την αντιλαμβάνεται αδρανειακός και μη αδρανειακός παρατηρητής. Μετά τη διδασκαλία, οι επιστημονικά αποδεκτές απαντήσεις αυξάνονται περίπου κατά 5%.

Πίνακας 5. Κατανομή των απαντήσεων των 46 φοιτητών στην ερώτηση 2Δ του προ-τεστ και των 40 φοιτητών στην ερώτηση 10Δ του μετα-τεστ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ | προ-τεστ | | μετα-τεστ | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-----------|------|
| | f | % | f | % |
| Το έργο της τριβής είναι: | | | | |
| 1. Διάφορες (Δεν απαντούν/ Μη κατατάξιμες) | 2 | 4,3 | 13 | 32,5 |
| Εναλλακτικές | | | | |
| 2. αρνητικό και για τους δύο παρατηρητές (η τριβή είναι ίδια και για τους δύο / η τριβή ασκείται αντίθετα από την κατεύθυνση της κίνησης) | 12 | 26,1 | 14 | 35 |
| 3. αρνητικό για τον ακίνητο παρατηρητή και θετικό για τον περιστρεφόμενο (δε δικαιολογούν) | 21 | 45,7 | - | - |
| 4. θετικό και για τους δύο παρατηρητές (δε δικαιολογούν) | 4 | 8,7 | - | - |
| Ελλιπείς | | | | |
| 5. Σωστή απάντηση, χωρίς δικαιολόγηση | 7 | 15,2 | 10 | 25 |

| Επιστημονικά αποδεκτές | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|----|-----|
| 6.(προ-τεστ)θετικό για τον ακίνητο και αρνητικό για τον περιστρεφόμενο παρατηρητή/ (μετα-τεστ) η τριβή επιταχύνει το σώμα για τον ακίνητο παρατηρητή και επιβραδύνει το σώμα για τον περιστρεφόμενο παρατηρητή (έχει αντίθετη φορά από τη σχετική ταχύτητα $v_{\sigma,\delta}$) | - | - | 3 | 7,5 |
| Συνολικό δείγμα | 46 | 100 | 40 | 100 |

Με τις ερωτήσεις αυτές διερευνούμε αν μπορούν οι φοιτητές να αντιληφθούν ότι ο ακίνητος και ο περιστρεφόμενος παρατηρητής μετρούν διαφορετικά έργα για την τριβή, δηλαδή αντιλαμβάνονται διαφορετικά αποτελέσματα της ίδιας δύναμης πάνω στο σώμα. Παρατηρούμε ότι η παρέμβασή μας επέδρασε θετικά και ότι το ποσοστό 15,2% των ελλιπών απαντήσεων αυξήθηκε σε 25%, ενώ οι επιστημονικά αποδεκτές αυξήθηκαν κατά 7,5% (πίνακας 5).

Η στατιστική ανάλυση έγινε με το μη παραμετρικό στατιστικό τεστ για διατάξιμα δεδομένα Kendall's tau-b. Σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των δύο τεστ εντοπίστηκαν στα αποτελέσματα του πίνακα 1 ($r = 0.268$, $p = 0.033$) και του πίνακα 3 ($r = -0.301$, $p = 0.040$). Συγκεκριμένα, φοιτητές με μικρότερη βαθμολογία στην ερώτηση 1Α του προ-τεστ παρουσίασαν μεγαλύτερη βαθμολογία στην ερώτηση 7 του μετα-τεστ, ενώ το αντίθετο συνέβη με τις ερωτήσεις 1Γ του προ-τεστ και 9 του μετα-τεστ. Για τις υπόλοιπες ερωτήσεις παρατηρήθηκε μία τάση βελτίωσης των αντιλήψεων των φοιτητών που δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η έλλειψη στατιστικά σημαντικής διαφοράς μπορεί να οφείλεται : α) στη δυσκολία του γνωστικού αντικειμένου, β) στο μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας των ερωτήσεων του μετα-τεστ, γ) στη χρονική απόσταση του ενός μηνός του μετα-τεστ από τη διδασκαλία, λόγω παρεμβολής των διακοπών των Χριστουγέννων και δ) στο ότι τα θέματα της διδασκαλίας δεν αποτελούσαν εξεταστέα ύλη για τους φοιτητές, οπότε είναι δυνατόν να μη μελέτησαν τις σημειώσεις που τους δώσαμε.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της εμπειρικής μας έρευνας, μπορούμε να συμπεράνουμε πως σημειώθηκε μία τάση μετατόπισης των αντιλήψεων των φοιτητών για τη σχετική περιστροφική κίνηση προς το επιστημονικό πρότυπο. Μετά τη διδασκαλία οι φοιτητές κατανοούν ότι η τριβή παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης σε αυτοκίνητο (ή ποδηλάτη) που στρίβει, σε ποσοστό 60%. Επιπλέον θεωρούν ότι ένα σώμα που κινείται σε κυκλική τροχιά, εάν δεν έχει την απαραίτητη κεντρομόλο δύναμη, θα κινηθεί στην εφαπτόμενη της τροχιάς για τον ακίνητο (αδρανειακό) παρατηρητή και θα διαγράψει ελικοειδή τροχιά για τον περιστρεφόμενο (μη αδρανειακό) παρατηρητή σε ποσοστά 70% και 52,5%, αντίστοιχα. Ένα ποσοστό 22,5% αναγνωρίζει ότι η τριβή που ασκείται από ένα περιστρεφόμενο δίσκο σε σώμα που κινείται πάνω του δεν είναι αντίθετη της ταχύτητας του σώματος αλλά αντίθετη της σχετικής ταχύτητας του σώματος, ως προς το δίσκο, έναντι του 2,2% πριν τη διδασκαλία. Θεωρούμε σημαντικό αυτό το ποσοστό γιατί για να δικαιολογήσουν την απάντησή τους έπρεπε να σχεδιάσουν την ταχύτητα του σώματος (αφού είχαν πρώτα βρει ότι η τροχιά είναι καμπύλη στο αδρανειακό σύστημα), την ταχύτητα του δίσκου, να βρουν με αφαίρεση διανυσμάτων τη σχετική ταχύτητα και μετά να σχεδιάσουν την τριβή, ενώ στο προ-τεστ είχαν να επιλέξουν τη σωστή απάντηση. Επίσης, το 32,5 % των φοιτητών μετά τη διδασκαλία φαίνεται να έχει κατανοήσει ότι η τριβή μπορεί να προκαλεί στην κίνηση ενός σώματος διαφορετικό αποτέλεσμα για τον αδρανειακό ή μη αδρανειακό παρατηρητή (π.χ. να επιταχύνει επιτρόχια και να περιστρέφει το σώμα για τον αδρανειακό και ταυτόχρονα να επιβραδύνει επιτρόχια για το μη αδρανειακό), ενώ το αντίστοιχο ποσοστό πριν τη διδασκαλία ανερχόταν σε 15,2%. Τέλος από τη μελέτη των απαντήσεων των



φοιτητών στο μετα-τεστ, για τις οποίες δεν είχε διεξαχθεί προέλεγχος σημειώθηκαν αξιοσημείωτα αποτελέσματα, όπως η ικανότητα των φοιτητών να διακρίνουν και να εφαρμόζουν νευτώνειες (βάρος, τριβή) και αδρανειακές δυνάμεις (ψευδοδυνάμεις: φυγόκεντρος, Coriolis) σε ποσοστό 37,5%.

Συνακόλουθα τα αποτελέσματα είναι αρκετά ενθαρρυντικά, όπως και η θετική στάση των φοιτητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, στην οποία προσπαθήσαμε να διδάξουμε το δύσκολο αυτό αντικείμενο μέσα από παραδείγματα της καθημερινής ζωής, μερικά από τα οποία είναι δυνατόν να τεθούν ως ερωτήσεις από τους μαθητές τους, όταν στο μέλλον θα γίνουν δάσκαλοι. Τα δεδομένα αυτά μας προτρέπουν να επεκτείνουμε μελλοντικά την έρευνά μας σε μεγαλύτερο δείγμα φοιτητών προκειμένου να εξάγουμε ασφαλέστερα αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

Alonso, M. & Finn, E. (1980). Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική-Τόμος 1: Μηχανική και Θερμοδυναμική.(μετάφραση Λ. Ρεσβάνης, Τ. Φίλιππας 1981).

Ford, K. Κλασική και σύγχρονη Φυσική –Τόμος 1. (μετάφραση Ν.Δουμάνης) Εκδόσεις Γ. Πνευματικού, Αθήνα.

Καρανίκας, Ι. (1996). Μελέτη των προβλημάτων της διδασκαλίας των θερμικών φαινομένων. Πρόταση για εποικοδομητική προσέγγιση στη διδασκαλία και μάθηση των θερμικών φαινομένων στους τετραετείς φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.

Knight, R. (2004). Πέντε Εύκολα Μαθήματα. Στρατηγικές για την επιτυχή διδασκαλία της Φυσικής. (μετάφραση Π. Τζαμαλής 2006). Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα.

Μίχας, Π. (2002). Αντιμέτωπιση δυσκολιών που αφορούν τη διδασκαλία των σχετικών κινήσεων. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση» σ.σ. 691-695. Πανεπιστήμιο Κρήτης Π.Τ.Δ.Ε., Ρέθυμνο.

Σταύρου, Δ.(2004). Σχολιασμός της συνεδρίας με τίτλο: Διδασκαλία- μάθηση «μοντέρνων» περιεχομένων και Μεταγνωστικές διαστάσεις της μάθησης. Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση», τόμος Β' σ.σ. 160-162. Πανεπιστήμιο Αθηνών – ΤΕΑΠΗ, Αθήνα.

Crouch,C.H. & Mazur,E. (2001). Peer Instruction: Ten Years of experience and results. American Journal of Physics, 69 (9), pp 970-977.

Galili, I. & Kaplan, D. (1997). Extending the application of the relativity principle: Some pedagogical advantages. American Journal of Physics, 65 (4), pp 328 -335.

Panse, S., Ramadas, J. & Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference. International Journal of Science Education , 16 (1), pp 63 – 82.

Ramadas, J., Barve, S. & Kumar, A. (1996 α). Alternative conceptions in Galilean relativity: distance, time, energy and laws. International Journal of Science Education, 18 (4), pp 463 – 477.

Ramadas, J., Barve, S. & Kumar, A. (1996 β). Alternative conceptions in Galilean relativity: inertial and non-inertial observers. International Journal of Science Education, 18 (5), pp 615 – 629.