

**ΣΤΡΟΦΟΡΜΟΣΚΟΠΙΟ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ
ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΤΡΟΦΟΡΜΗΣ**

Δημήτρης Τσαούσης

Σχολικός Σύμβουλος ΠΕ4, Σεφέρη 8, Ελεούσα Ιωαννίνων, Ιωάννινα 45500, E-mail:
me00034@cc.uoi.gr.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργαστηριακή συσκευή που κατασκευάσαμε, συμπληρώνει το κενό που υπάρχει στα όργανα φυσικής στο κεφάλαιο του στερεού σώματος. Η συσκευή, παραλλαγή της διάταξης Cardan, σχεδιάστηκε με βάση το γνωστό πείραμα κατά το οποίο μια μαθήτρια κρατά ένα περιστρεφόμενο τροχό και τον αντιστρέφει, ενώ αυτή κάθεται σε περιστρεφόμενο κάθισμα. Η αντιστροφή του τροχού συνεπάγεται την περιστροφή της μαθήτριας και του καθίσματος λόγω της διατήρησης της στροφορμής. Μοντελοποιήσαμε το ανωτέρω πείραμα και η συσκευή που κατασκευάσαμε διατηρεί όλα τα θετικά του περάματος και αναιρεί όλα τα αρνητικά του. Εκτός της διατήρησης της στροφορμής, το στροφορμοσκόπιο με τα παρελκόμενα που περιλαμβάνει μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε εργαστηριακές ασκήσεις μεταβολής της στροφορμής (γυροσκόπιο), σε ασκήσεις μέτρησης ροπής αδράνειας ενός δίσκου αλλά και σε ασκήσεις κινητικής ενέργειας λόγω περιστροφής. Για τους λόγους αυτούς προτείνουμε στο Γραφείο Εργαστηρίων του ΥΠΕΠΘ να τη συμπεριλάβει στον εξοπλισμό των εργαστηριακών οργάνων των εργαστηρίων των Ε.Λ. όλης της χώρας. Επειδή η συσκευή είναι απλή και κατανοητή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στο Γυμνάσιο για την κατανόηση της έννοιας της στροφορμής. Επίσης θα μπορούσε να περιλαμβάνεται και στον εξοπλισμό των εργαστηρίων των Πανεπιστημίων, αφού με την προσθήκη ενός αισθητήρα επιτρέπει τη λήψη αξιόπιστων μετρήσεων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Στροφορμοσκόπιο, Στροφορμή στερεού σώματος, Γυροσκόπιο, Νόμος της διατήρησης της στροφορμής, Μεταβολή της στροφορμής, Κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής, Μέτρηση της ροπής αδράνειας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη του στερεού σώματος έλειπε για πολλά χρόνια από τη διδασκαλία της Φυσικής στη Μέση Εκπαίδευση και επανήλθε με το νέο πρόγραμμα σπουδών του 1999. Η επαναφορά αυτή δημιούργησε ανάγκες για καινούργια βιβλία θεωρίας και ασκήσεων αλλά και εργαστηριακών ασκήσεων και εργαστηριακών οργάνων. Αυτά αποτελούν τα κατάλληλα εργαλεία με τα οποία ο καθηγητής της Φυσικής βελτιώνει τη διδασκαλία του.

Με την εργασία μας αυτή θέλουμε να βοηθήσουμε προς αυτή την κατεύθυνση, με την κατασκευή ενός εργαστηριακού οργάνου που να καλύπτει μερικές εργαστηριακές ασκήσεις στο κεφάλαιο του στερεού σώματος.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η ενέργεια, η γραμμική ορμή και η στροφορμή ενός απομονωμένου συστήματος παραμένουν σταθερές. Η στροφορμή είναι εντελώς καινούργια έννοια και δύσκολη για να την κατανοήσουν και να την εμπεδώσουν οι μαθητές μας.

Σύμφωνα με το νόμο της διατήρησης της στροφορμής η ολική στροφορμή ενός συστήματος είναι σταθερή εάν η συνισταμένη εξωτερική ροπή η οποία δρα πάνω στο σύστημα είναι μηδέν. Προκύπτει δε από την εξίσωση (1) όπου βλέπουμε ότι, εάν

$$\sum \tau_{\text{εξωτ}} = \frac{dL}{dt} = 0 \quad (1)$$

τότε

$$L = \text{σταθερή} \quad (2)$$

Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε πολλά παραδείγματα διατήρησης της στροφορμής. Ένα πείραμα που κατά τη γνώμη μας κάνει κατανοητό το νόμο της διατήρησης της στροφορμής με πολύ εντυπωσιακό τρόπο, είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 1. Η μαθήτρια και το κάθισμα αρχικά ακινητούν, ενώ ο τροχός περιστρέφεται με τον άξονά του κατακόρυφο

Μια μαθήτρια (Σχήμα 1) κάθεται σε ένα κάθισμα το οποίο μπορεί να περιστρέφεται χωρίς τριβές γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα και κρατά τον άξονα ενός περιστρεφόμενου τροχού ποδηλάτου. Η μαθήτρια και το κάθισμα αρχικά ακινητούν, ενώ ο τροχός περιστρέφεται με τον άξονά του κατακόρυφο, με αρχική στροφορμή L_0 , η οποία κατευθύνεται προς τα επάνω. Η μαθήτρια κάποια στιγμή γυρίζει ανάποδα τον τροχό (δηλαδή κατά 180°) ασκώντας εσωτερική ροπή. Επειδή δεν υπάρχει εξωτερική ροπή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα, η στροφορμή του συστήματος διατηρείται.

Αρχικά έχουμε

$$L_{\text{συστήματος}} = L_0 \quad (\text{προς τα επάνω})$$

Μετά το αναποδογύρισμα του τροχού

$$L_{\text{συστήματος}} = L_0 = L_{\text{μαθήτριας + κάθισμα}} + L_{\text{τροχός}}$$

Τώρα όμως ο τροχός περιστρέφεται με φορά αντίθετη από την προηγούμενη, άρα

$$L_{\text{τροχός}} = -L_0$$

Έτσι

$$L_0 = L_{\text{μαθήτριας + κάθισμα}} - L_0$$

οπότε

$$L_{\text{μαθήτριας + κάθισμα}} = 2L_0$$

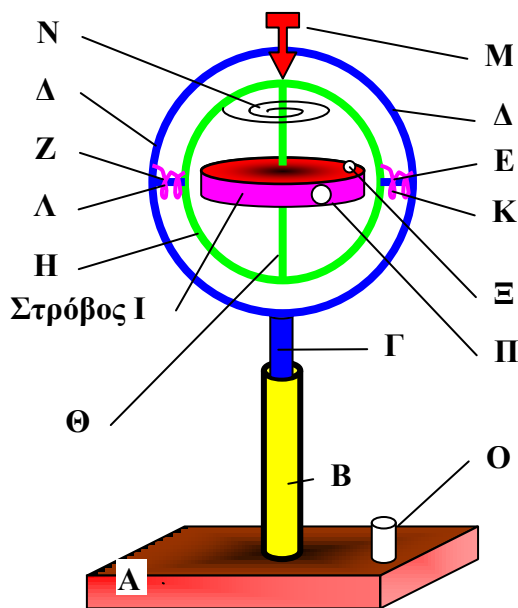
Από τις πράξεις βλέπουμε ότι η μαθήτρια και το κάθισμα θα περιστρέφονται τώρα έτσι ώστε το μέτρο της στροφορμής τους να είναι διπλάσιο από την αρχική στροφορμή του περιστρεφόμενου τροχού.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

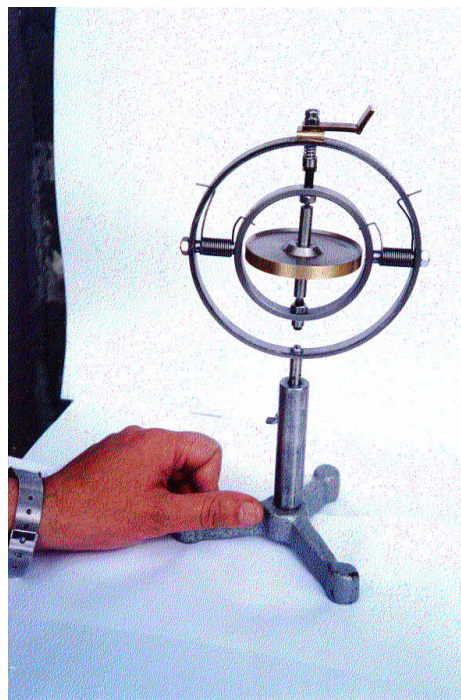
Το πείραμα που περιγράψαμε είναι πολύ κατανοητό και πρακτικό, αλλά δύσκολο να πραγματοποιηθεί στη σχολική τάξη για πολλούς λόγους, όπως η ασφάλεια των μαθητών που συμμετέχουν στο πείραμα καθώς και ο όγκος και το κόστος των πειραματικών διατάξεων. Έτσι επινοήσαμε ένα τρόπο να πραγματοποιήσουμε το ανωτέρω πείραμα με μια πειραματική διάταξη που αποτελεί παραλλαγή της διάταξης Cardan και στηρίζεται στην ίδια ιδέα της περιστρεφόμενης μαθήτριας, χωρίς όμως να περιλαμβάνει μαθητές και περιστρεφόμενο

κάθισμα και χωρίς να χάσουμε τη γοητεία του αρχικού πειράματος. Η αρχή λειτουργίας της πειραματικής συσκευής που προτείνουμε φαίνεται στο σχήμα 2α.

Ο εξωτερικός δακτύλιος (Δ) είναι δυνατόν να περιστρέφεται περί κατακόρυφο άξονα (Γ), ενώ το επίπεδό του διατηρείται πάντα κατακόρυφο. Ο εσωτερικός δακτύλιος (Η), στον οποίο έχει προσαρμοστεί ένας δίσκος (Ι) (στρόβος), στηρίζεται μέσω δυο οριζοντίων ημιάξονων (Ε) και (Ζ) στον εξωτερικό δακτύλιο (Δ) όπως στο σχήμα 2α. Στους ημιάξονες (Ε) και (Ζ) που συνδέουν τους δυο δακτυλίους έχουν προσαρμοστεί δυο ελατήρια (Κ) και (Λ) που συσπειρώνονται όταν περιστραφεί ο εσωτερικός δακτύλιος, ώστε να έχουμε τη δυνατότητα εφαρμογής εσωτερικής ροπής. Τέλος, στο ανώτερο σημείο του εξωτερικού δακτυλίου υπάρχει μηχανισμός Μ, που μπορεί επιλεκτικά να κρατά τους δυο δακτυλίους στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο.



(α)



(β)

Σχήμα 2. (α) Αρχή λειτουργίας στροφομοσκοπίου, (Α) Βάση, (Β) Κοίλος σωλήνας, (Γ) κατακόρυφος άξονας, (Δ) Εξωτερικός δακτύλιος, (Ε) και (Ζ) ημιάξονες, (Η) Εσωτερικός δακτύλιος, (Θ) άξονας του στρόβου, (Ι) Δίσκος (στρόβος), (Κ) και (Λ) Ελατήρια, (Μ) Μηχανισμός που μπορεί επιλεκτικά να κρατά τους δυο δακτυλίους στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, (Ν) ελατήριο στρέψης του στρόβου, (Ξ) οπή, (Ο) τεμάχια μαζών, (Π) ανακλαστική επιφάνεια.

(β) Φωτογραφία του στροφομοσκοπίου. Οι διαστάσεις του οργάνου γίνονται αντιληπτές από τη σύγκριση με το χέρι που κρατά τη συσκευή.

Ο εξωτερικός δακτύλιος παίζει το ρόλο του περιστρεφόμενου καθίσματος και της μαθήτριας, ενώ ο στρόβος παίζει το ρόλο του τροχού ποδηλάτου. Η ροπή των ελατηρίων (Κ) και (Λ) αντιστοιχεί στη ροπή που εφαρμόζει η μαθήτρια για να γυρίσει ανάποδα τον τροχό.

Αφού περιστρέψουμε τον εσωτερικό δακτύλιο κατά 180°, τον στερεώνουμε με το μηχανισμό (Μ) ώστε τα επίπεδα των δυο δακτυλίων να ταυτίζονται. Δίνουμε στροφορμή στο στρόβο. Απελευθερώνουμε στιγμιαία το μηχανισμό (Μ), οπότε ο εσωτερικός δακτύλιος (Η) με το στρόμβο περιστρέφονται κατά 180°. Τότε το όλο σύστημα αρχίζει να περιστρέφεται

κατά την αρχική φορά περιστροφής του στρόβου. Στο σχήμα 2β φαίνεται η πειραματική συσκευή που κατασκευάσαμε. Η όλη συσκευή με τα παρελκόμενα περιλαμβάνεται σε ξύλινη θήκη διαστάσεων 254 X 192 X 118 mm.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ

Η συσκευή έχει τις ακόλουθες δυνατότητες:

1. Είναι εύκολη και ακίνδυνη στη χρήση της.
2. Λειτουργεί αυτόνομα και δεν απαιτεί χρόνο για την προετοιμασία του πειράματος.
3. Κάνει κατανοητό το μέγεθος της στροφορμής (διάταξη Cardan).
4. Αποδεικνύει το νόμο διατήρησης της στροφορμής με εντυπωσιακό, απλό και κατανοητό τρόπο για τους μαθητές.
5. Πραγματοποιεί εργαστηριακές ασκήσεις μεταβολής της στροφορμής λόγω εξωτερικής ροπής με εντυπωσιακό, απλό και κατανοητό τρόπο για τους μαθητές (εύχρηστο γυροσκόπιο).
6. Πραγματοποιεί εργαστηριακές ασκήσεις μετατροπής δυναμικής ενέργειας σε ενέργεια περιστροφής.
7. Πραγματοποιεί εργαστηριακές ασκήσεις για την απόδειξη της σχέσης που συνδέει τη ροπή αδράνειας με τη γωνιακή ταχύτητα στην κινητική ενέργεια στερεού σώματος λόγω περιστροφής.
8. Με τη βοήθεια αισθητήρων είναι δυνατόν να λάβουμε μετρήσεις και να προβούμε σε ποσοτικά πειράματα, όπως τον πειραματικό προσδιορισμό της ροπής αδράνειας ενός στρόβου.
9. Καλύπτει τις ανάγκες διδασκαλίας της Γ' τάξης Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης του Ενιαίου Λυκείου. Το ισχύον Πρόγραμμα Σπουδών περιέχει την Διατήρηση στροφορμής και την κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής και θέτει σαν στόχο ο μαθητής να μπορεί να διακρίνει την ύπαρξη του διανυσματικού μεγέθους "στροφορμή", η οποία διατηρείται και να το χρησιμοποιεί στη λύση φυσικών προβλημάτων.
10. Καλύπτει τις προτεινόμενες δραστηριότητες του ισχύοντος προγράμματος σπουδών 1999, που προβλέπει πειράματα με τροχό και γυροσκόπιο.
11. Είναι ιδανικό εργαστηριακό όργανο για την πραγματοποίηση της εργαστηριακής άσκησης της μέτρησης της ροπής αδράνειας στερεού σώματος, που προβλέπεται από το πρόγραμμα σπουδών της Γ' τάξης Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης του Ενιαίου Λυκείου.
12. Επιδέχεται βελτιώσεις. Ήδη βρισκόμαστε στο στάδιο των δοκιμών της κατασκευής στροφορμοσκοπίου του οποίου ο άξονας του σφονδύλου αποτελείται από δυο μεταβλητού μήκους ημιάξονες (Σ) και (Τ) για να συγκρατούν το στρόβο (Ι) ή και άλλα αντικείμενα διαφόρων μεγεθών και σχημάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή έγινε εξ ολοκλήρου στο εργαστήριο τεχνολογίας του Γυμνασίου Ελεούσας Ιωαννίνων, με την τεχνική επιμέλεια του Τεχνολόγου καθηγητή κ. Κώστα Πλακαλή. Η συσκευή έχει χαμηλό κόστος κατασκευής, είναι εύχρηστη, μικρών διαστάσεων, μικρού βάρους, καλαισθητή, απολύτως ακίνδυνη στη χρήση της και κάνει θεαματικά και άμεσα κατανοητό από τους μαθητές το νόμο της διατήρησης της στροφορμής και τη μεταβολή της στροφορμής λόγω εξωτερικής ροπής. Αποτελεί μοντελοποίηση ενός φυσικού φαινομένου, εκείνου της περιστροφής της μαθήτριας, είναι δε στους στόχους της διδασκαλίας

της Φυσικής οι μαθητές να μάθουν να μοντελοποιούν διάφορα φυσικά φαινόμενα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με τα παρελκόμενα που διαθέτει (ελατήριο στρέψης και μάζες για την αύξηση της ροπής αδράνειας) και σε άλλα πειράματα του στερεού σώματος όπως της μελέτης της κινητικής ενέργειας σώματος λόγω περιστροφής και ιδιαίτερα του υπολογισμού της ροπής αδράνειας στερεού σώματος. Για τους λόγους αυτούς προτείνουμε στο Γραφείο Εργαστηρίων του ΥΠΕΠΘ να τη συμπεριλάβει στον εξοπλισμό των εργαστηριακών οργάνων των εργαστηρίων των Ε.Λ. όλης της χώρας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από της θέσεως αυτής θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους συνεργάτες μας στην προσπάθειά μας:

Κ. Πλακαλή, Καθηγητή Τεχνολόγο του Γυμνασίου Ελεούσας Ιωαννίνων, για την επιμέλεια που επέδειξε στην κατασκευή του πρώτου δείγματος διαθέτοντας τον πολύτιμο ελεύθερο χρόνο του. Η υπομονή του στις απαιτήσεις μας στο στάδιο των δοκιμών, αλλά και οι γνώσεις του και η ικανότητά του στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες μας επέτρεψαν να παρουσιάσουμε ένα λειτουργικό και καλαίσθητο εργαστηριακό όργανο.

Χ. Λάμπρου, Διευθυντή του Γυμνασίου Ελεούσας Ιωαννίνων, για την άριστη συνεργασία του μαζί μας αλλά και για τη συμπαράσταση και την οικονομική υποστήριξη που μας παρείχε για την υλοποίηση της ιδέας μας.

Δ. Καραμπίνα, Καθηγητή ΠΕ4 του 5^{ου} Ε.Λ. Ιωαννίνων, για τις εξαιρετες φωτογραφίες του πρώτου δείγματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]-Αλκινόου Ε. Μάζη, Φυσική, Τόμος Πρώτος, Έκδοση Τρίτη, Εστία, Αθήνα, 1959, σελ. 225.
- [2]-Ν. Οικονόμου, Εισαγωγή εις την Φυσική, Τεύχος Α', World University Service, Θεσσαλονίκη, 1967, σελ. 239-246
- [3]-Raymond A. Serway, PHYSICS For Scientists & Engineers, Saunders Colleg Publishing, Philadelphia, Απόδοση στα Ελληνικά Λεωνίδα Κ. Ρεσβάνη, Αθήνα, 1990, σελ. 280.
- [4]-Α. Ιωάννου, Ι. Ντάνος, Α. Πήττας, Σ. Ράπτης, Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης Γ' τάξης Ε.Λ., ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2001, σελ. 121-125.