

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΚΥΛΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ

**Καλφαγιάννης
Αθανάσιος**
Επιμορφωτής Τ.Π.Ε.
κλάδου ΠΕ4
akalfag@de.sch.gr

Πάτκου Βασιλική
Φυσικός - Εκπαιδευτικός
Δευτεροβάθμιας
Εκπαίδευσης
patkou@physics.auth.gr

Ταξίδης Αχιλλέας
Φυσικός - Εκπαιδευτικός
Δευτεροβάθμιας
Εκπαίδευσης

**Ομάδα Παιδείας Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Παραρτήματος Κ.Α. Μακεδονίας
της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εισήγηση αυτή προτείνουμε μία διδακτική προσέγγιση του φαινομένου της κύλισης στερεού σώματος σε οριζόντιο, αλλά και κεκλιμένο επίπεδο με τη βοήθεια τριών προσομοιώσεων που δημιουργήσαμε με το λογισμικό *Interactive Physics*. Η δραστηριότητα απευθύνεται σε μαθητές Γ' τάξης Ενιαίου Λυκείου Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης που έχουν διδαχτεί την αντίστοιχη ενότητα του σχολικού εγχειριδίου. Το παιδαγωγικό σενάριο αναφέρεται στην κύλιση του στερεού σώματος όταν η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται σ' αυτό έχει (α) μέτρο ίσο με το μηδέν, (β) μέτρο διάφορο του μηδενός, και (γ) στην περίπτωση κύλισης του στερεού σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο. Σε κάθε περίπτωση ο μαθητής παρατηρεί, συλλέγει και επεξεργάζεται δεδομένα από τους μετρητές, εξάγει συμπεράσματα και επαληθεύει το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας και την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας που ισχύουν για τη 2^η και την 3^η προσομοίωση, αντίστοιχα.

Παρουσιάζονται, επίσης, τα αποτελέσματα ενός ερωτηματολογίου που δημιουργήθηκε για τον καλύτερο έλεγχο των παραπάνω διαδικασιών και συμπληρώθηκε από 102 μαθητές σχολείων της Θεσσαλονίκης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: προσομοίωση, κεκλιμένο επίπεδο, κύλιση, τριβή, ολίσθηση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφαρμογή των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (Τ.Π.Ε.) στην εκπαίδευση, με σκοπό την παιδαγωγική αξιοποίησή τους, έδωσε το έναυσμα για τη μελέτη, με τη βοήθεια του υπολογιστή, των πιο δύσκολων σημείων του περιεχομένου του αναλυτικού προγράμματος.

Παράλληλα, οι πρόσφατες αλλαγές στα αναλυτικά προγράμματα του Λυκείου έφεραν τους εκπαιδευτικούς αντιμέτωπους με την ανάλυση και διδασκαλία της μηχανικής του στερεού σώματος. Τα προβλήματα που ανέκυψαν κατά τη διδασκαλία του κεφαλαίου αυτού έγιναν αντικείμενο διεξοδικών συζητήσεων μεταξύ εκπαιδευτικών με σημαντική εμπειρία, στις επιμορφωτικές συναντήσεις κατά τη διάρκεια της ενδοσχολικής επιμόρφωσης. Έτσι αναδείχθηκε η ανάγκη να

παρουσιάζεται αναλυτικά ο μηχανισμός των φαινομένων που εξετάζονται στο κεφάλαιο αυτό και η υποστήριξή τους με τη βοήθεια των Τ.Π.Ε.

Τα θέματα της μηχανικής που πραγματεύεται το σχολικό βιβλίο παρουσιάζουν δυσκολίες στη διδακτική παρουσιάσή τους με τον κλασικό τρόπο διδασκαλίας. Το κλασικό εργαστήριο Φυσικής, παράλληλα, δεν είναι ικανό να καταγράψει, και πολύ περισσότερο, να επεξεργαστεί δεδομένα, όπως είναι τα μέτρα της τριβής και της γωνιακής ταχύτητας, να εμφανίσει τα διανύσματα των μεγεθών αυτών, να διακρίνει τα είδη των τριβών, να καταγράψει κάθε χρονική στιγμή τα μέτρα των μεγεθών που υπεισέρχονται στο φαινόμενο και να δημιουργήσει γραφικές παραστάσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, διαμορφώθηκαν οι συνθήκες για την ανάπτυξη μίας πειραματικής διδασκαλίας του φαινομένου της κύλισης στερεού σώματος σε οριζόντιο αλλά και κεκλιμένο επίπεδο, μέσω προσομοιώσεων με το λογισμικό "Interactive Physics" και με την τεχνολογία των "Applets". Η παρουσίαση του μηχανισμού της κύλισης με τη βοήθεια της προσομοίωσης προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για να αναλυθεί και να εξηγηθεί το φαινόμενο στους μαθητές τόσο σε ποιοτικό επίπεδο (σύνθεση κινήσεων, δράση δυνάμεων κ.ά.) όσο και στην ποσοτική εκτίμηση του αποτελέσματος των επιμέρους συνιστωσών (τριβή κ.ά.).

Η παρουσίαση με τον υπολογιστή συνοδεύεται απαραίτητα από παράλληλες εκπαιδευτικές δραστηριότητες (ερωτήσεις, υπολογισμοί, σχόλια και συμπεράσματα), που προκαλούν ερωτήματα, ενισχύουν την κατανόηση των επιμέρους εννοιών και αυξάνουν την ικανότητα των μαθητών να εμβαθύνουν στην ανάλυση επιστημονικών εννοιών.

Τα θέματα που αναδείχθηκαν, μέσα από τη μελέτη της κύλισης ενός στερεού σώματος σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο, ως αντικείμενα προβληματισμού και συζήτησης μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω σημεία:

- Οι συνθήκες κύλισης ενός σώματος με ή χωρίς ολίσθηση
- Η κατανόηση της σύνθετης κίνησης του σώματος (μεταφορική και περιστροφική ταυτόχρονα)
- Ο ρόλος της τριβής στην κύλιση
- Η κατανόηση του έργου των δυνάμεων που εμφανίζονται

Η παρουσίαση του συγκεκριμένου φαινομένου της κύλισης μέσω της προσομοίωσης με υπολογιστή μας έδωσε τη δυνατότητα εστίασης της διδασκαλίας σε θέματα που διδάσκονται ειδικά στο κεφάλαιο αυτό και παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες κατανόησης, όπως π.χ. η εμφάνιση και η φορά του διανύσματος της στατικής τριβής. Η προσομοίωση αναδεικνύεται σε ισχυρό εργαλείο μάθησης και ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας στις περιπτώσεις αυτές. Για το λόγο αυτό έχει συμπεριληφθεί στην προσομοίωση η ανάλυση επιλεγμένων εφαρμογών και προβλημάτων από το σχολικό βιβλίο, (Ιωάννου, κ.ά.), όπως οι ασκήσεις 4.61, 4.62, 4.67 καθώς και το λυμένο παράδειγμα 4.13, σ.129. Οι ασκήσεις και το παράδειγμα μπορούν να αποτελέσουν μια σειρά θεμάτων για να μελετηθεί το φαινόμενο της κύλισης. Με τον τρόπο αυτό η όλη διαδικασία είναι στενά συνδεδεμένη με την καθημερινή εκπαιδευτική αναγκαιότητα της σχολικής πράξης.

ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Για τον καλύτερο έλεγχο των παραπάνω εκπαιδευτικών διαδικασιών, δημιουργήθηκε κατ'αρχήν ένα σχετικό ερωτηματολόγιο που συμπληρώθηκε από 100 μαθητές σχολείων της Θεσσαλονίκης, και περιελάμβανε τις παρακάτω ερωτήσεις:

Μια σφαίρα αφήνεται στο σημείο Α πλάγιου επιπέδου και κυλίνεται σ' αυτό χωρίς ολίσθηση. Κατά την κίνησή της προς τα κάτω αυξάνεται τόσο η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής όσο και η ταχύτητα του κέντρου μάζας της, επομένως η σφαίρα αποκτά γωνιακή και γραμμική επιτάχυνση.

A) Ποιες δυνάμεις είναι υπεύθυνες:

- α) για το ότι η σφαίρα δεν ολισθαίνει
- β) για τη γωνιακή επιτάχυνση της σφαίρας
- γ) για τη γραμμική επιτάχυνση της σφαίρας

B) Τι θα άλλαζε στην κίνηση αν:

- α) $U_{cm} > \omega R$ κάθε στιγμή;
- β) $U_{cm} < \omega R$ κάθε στιγμή;

Γ) Ποια θα είναι η φορά της τριβής (προς τα πάνω ή προς τα κάτω) σε κάθε μια από τις περιπτώσεις B.α και B.β;

ΟΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

Οι απαντήσεις στην κάθε μία από τις ερωτήσεις αυτές είχαν ως εξής:

Ερώτηση Α.α

Λάθος	Τριβή	Στατική Τριβή	Τριβή Ολίσθησης	Χωρίς Απάντηση	Ροπή	Βάρος
15	49	19	7	5	3	2

Ερώτηση Α.β

Λάθος	Βάρος	Τριβή και Βάρος	Τριβή	Στατική Τριβή	Τριβή Ολίσθησης	Χωρίς Απάντηση	Ροπή Τριβής
15	15	19	21	8	1	10	4
Στατική τριβή και Bx		Συνιστώσα Bx					
3		4					

Ερώτηση Α.γ

Τριβή και Βάρος	Δεν γνωρίζω	Βάρος	Λάθος	Bx	Τριβή	Στατική Τριβή	Bx και Τριβή
12	25	15	9	26	3	7	3

Ερώτηση Β.α

Χωρίς Απάντηση	Ολισθαίνει	Μεταφορική	Λάθος
33	30	4	33

Ερώτηση Β.β

Χωρίς Απάντηση	Περιστροφή χωρίς Μετακίνηση	Ολισθαίνει	Λάθος	Δεν Ολισθαίνει
28	17	24	30	1

Ερώτηση Γ.Β.α

Προς τα Πάνω	Προς τα Κάτω	Χωρίς Απάντηση	Λάθος
44	15	35	6

Ερώτηση Γ.Β.β

Προς τα Πάνω	Προς τα Κάτω	Χωρίς Απάντηση	Λάθος
28	33	33	6

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Από την επεξεργασία των απαντήσεων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- στην ερώτηση του σχολικού εγχειριδίου 4.20 (Α.γ) απαντά σωστά το 3% των μαθητών (συνιστώσα του βάρους $B\chi$ και η τριβή) , ενώ το 12% απαντά: "Το βάρος και η τριβή".
- Το 25% των μαθητών γνωρίζει ότι, αν $U_{cm} > \omega R$, ο τροχός ολισθαίνει.
- Η σωστή απάντηση στην ερώτηση Γ.Β.β που δίνει το 33% των μαθητών είναι μάλλον τυχαία, αν ληφθούν υπόψη οι αιτιολογήσεις των μαθητών.
- Το 65% των μαθητών γνωρίζει ότι κάποια τριβή είναι υπεύθυνη για το ότι το σώμα δεν ολισθαίνει.

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ

Ειδικότερα τα θέματα παρουσιάζονται σε τρεις προσομοιώσεις:

- Κίνηση τροχού σε οριζόντιο επίπεδο (συνθήκες κύλισης με ολίσθηση).
Μέχρι την ικανοποίηση της συνθήκης κύλισης χωρίς ολίσθηση, μπορούν οι μαθητές να παρατηρήσουν την τριβή ολίσθησης που είναι υπεύθυνη για την μεταβολή των μεγεθών v_{cm} και $v_{περ}$ καθώς και τη γραφική παράσταση των v_{cm} και $v_{περ}$ με το χρόνο. Παρατηρούν ότι η τριβή ολίσθησης είναι υπεύθυνη για την αύξηση της

ταχύτητας του κέντρου μάζας του σώματος και ότι η στατική τριβή μηδενίζεται, όταν το σώμα κυλίνεται χωρίς ολίσθηση.

- Κίνηση τροχού σε οριζόντιο επίπεδο (συνθήκες κύλισης χωρίς ολίσθηση).
Η διαφορά από την πρώτη προσομοίωση είναι ότι τώρα στον τροχό ασκείται σταθερή οριζόντια δύναμη, η οποία αφ' ενός του μεταβάλλει την κινητική του ενέργεια και αφ' ετέρου εμφανίζεται το διάνυσμα της στατικής τριβής στη διάρκεια της κίνησης.
- Κίνηση τροχού σε κεκλιμένο επίπεδο (κάθοδος-άνοδος του σώματος) με τη φορά όλων των δυνάμεων που επενεργούν στο σώμα.

Η τρίτη αυτή προσομοίωση θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι μία περίπτωση της δεύτερης, με τη διαφορά ότι τώρα η εξωτερική δύναμη που ασκείται στον τροχό είναι η συντηρητική (διατηρητική) δύναμη του βάρους, με συνέπεια να ισχύει για το σώμα η αρχή διατήρησης της μηχανικής του ενέργειας, κάτι που δε συμβαίνει με τη δεύτερη προσομοίωση, στην οποία ισχύει το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας για το σώμα.

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παράλληλα με την προσομοίωση αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα Φύλλο Εργασίας στο (εξής Φ.Ε.) για τους μαθητές, ώστε να εστιάζεται η προσοχή τους σε συγκεκριμένα θέματα – ερωτήματα, αλλά και να ελέγχεται ο βαθμός κατανόησης του συνολικού αντικειμένου.

Το Φ.Ε. σχεδιάστηκε σύμφωνα με το πρότυπο: πρόβλεψη, εκτέλεση προσομοίωσης, καταγραφή των τιμών από τους μετρητές, συμπεράσματα, επαλήθευση ή όχι της πρόβλεψης, υπολογισμοί και επαλήθευση βασικών αρχών, π.χ. της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Για τη σύνταξη του Φ.Ε. λάβαμε υπόψη κάποιες γενικές σχεδιαστικές και οργανωτικές αρχές που χαρακτηρίζουν ένα τυπικό Φ.Ε. από την περιοχή των Φυσικών Επιστημών. Ενδεικτικά: Αποφύγαμε μεγάλα κείμενα και λεπτομερείς οδηγίες, έχοντας κατά νου αφενός ότι οι μαθητές αποφεύγουν να τις διαβάζουν και αφετέρου ότι τα καταφέρνουν περίφημα στη χρήση του υπολογιστή, αφού άλλωστε έχουν διδαχθεί το μάθημα της Πληροφορικής από το γυμνάσιο.

Δημιουργήσαμε τρεις προσομοιώσεις, ώστε κλιμακωτά να προχωρούμε στην εξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από το Φ.Ε.

Διατύπωσαμε στο Φ.Ε τα συμπεράσματα στα οποία θέλουμε να καταλήξουμε ή ζητήσαμε από το μαθητή να τα ολοκληρώσει.

Στις ειδικές σχεδιαστικές αρχές του φύλλου εργασίας, ενδεικτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι επιμελώς περιοριστήκαμε στη διδακτέα ύλη του σχολικού εγχειριδίου και αποφύγαμε να δημιουργήσουμε σύγχυση και προβληματισμό στους μαθητές, κάνοντας αναφορά σε έργο ροπής στατικής τριβής, σε υπολογισμό των ψευδοέργων της στατικής τριβής και της ροπής της από τους μετρητές της κτλ.

Επίσης στη δεύτερη και τρίτη προσομοίωση μπορούσαμε να δημιουργήσουμε συνθήκες ολίσθησης και να παρατηρήσουμε τις διαφορές και ομοιότητες που εμφανίζονται στις μεταβολές των μεγεθών σε σχέση με την πρώτη προσομοίωση. Αυτό, όμως, νομίζουμε ότι ξεφεύγει από τη διδακτέα ύλη και το αποφύγαμε στο φύλλο εργασίας. Υπήρξε όμως σημείο γόνιμου προβληματισμού για τους επιμορφούμενους καθηγητές και θα μπορούσε κατά τη γνώμη μας, η αλληλεπίδραση του εκπαιδευτικού

με το λογισμικό σχετικά με την κίνηση του στερεού να αποτελέσει θέμα ξεχωριστής εισήγησης.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ:

Με την προσομοίωση αυτή επιδιώκουμε ο μαθητής

- να κατανοήσει:
Πότε εμφανίζεται σε ένα σώμα η τριβή ολίσθησης και πότε η στατική τριβή.
Ποια είναι η φορά των διανυσμάτων των δυνάμεων αυτών
Για τον τροχό που κυλίζει χωρίς ολίσθηση, πότε ισχύει η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας και πότε το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας.
 - Να διαπιστώσει ότι η γραμμική και η γωνιακή επιτάχυνση του σώματος παραμένουν σταθερές, όταν αυτό δεν ολισθαίνει.
 - Να προβλέψει και να επαληθεύσει τις χρονικές εξισώσεις της γραμμικής και της γωνιακής ταχύτητας του σώματος, της μετατόπισης και της γωνίας που διαγράφει.
- Για τη συμπλήρωση του φύλλου εργασίας απαιτούνται δύο διδακτικές ώρες.

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τίτλος ενότητας: Μηχανική στερεού σώματος

Τάξη Γ Λυκείου θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης

Ονοματεπώνυμο:.....

Ημερομηνία:.....

Περιβάλλον 1^{ης} προσομοίωσης

Αρχικές συνθήκες

Ο τροχός έχει αρχική γωνιακή ταχύτητα $\omega_0 = -10 \text{ rad/sec}$ και $U_{0cm} = 0 \text{ m/sec}$. Η ακτίνα του τροχού είναι $R = 1,18 \text{ m}$.

Τα ερωτήματα:

Μπορείτε με τα παραπάνω στοιχεία να προβλέψετε

1. αν ο τροχός θα ολισθήσει;
2. ποια δύναμη εμφανίζεται κατά την κίνησή του;

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ-ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ξεκινήστε την προσομοίωση πατώντας το κουμπί <<βήμα- βήμα>> και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα, καταγράφοντας τις τιμές των U_{cm} και ω από τους μετρητές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Ταχύτητα κέντρου μάζας $U_{cm}(\text{m/sec})$	Γωνιακή ταχύτητα $\omega(\text{rad/sec})$	$U_{cm}/\omega \text{ (m)}$	Υπερ= $\omega \cdot R$ (m/sec)
$t_1=0.0$	0	-10	0	11,8
$t_2=1.0$				
$t_3=1.5$				
$t_4=2.0$				
$t_5=2.5$				
$t_6=3.0$				

$t_7=3.5$				
$t_8=4.0$				
Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Ταχύτητα σημείου επαφής $U = U_{\text{περ}} - U_{\text{cm}}$ (m/sec)	Κίνηση με ολίσθηση (ναι- όχι)	Μέτρο δύναμης τριβής και φορά (αριστερά- δεξιά)	
$t_1=0.0$				
$t_2=1.0$				
$t_3=1.5$				
$t_4=2.0$				
$t_5=2.5$				
$t_6=3.0$				
$t_7=3.5$				
$t_8=4.0$				

Παρατηρήστε το κοινό διάγραμμα των γραφικών παραστάσεων της ταχύτητας του κέντρου μάζας και της ταχύτητας από περιστροφή του σημείου επαφής με το χρόνο.

- α) Ποιας μορφής θα είναι η χρονική εξίσωση της ταχύτητας του κέντρου μάζας;
 β) Μπορείτε να υπολογίσετε την επιτάχυνση του κέντρου μάζας (a_{cm}), αν γνωρίζετε ότι η μάζα του τροχού είναι 0.5 Kgr, επαληθεύοντας την τιμή του μετρητή; $a_{\text{cm}}=.....$
 γ) Ποια δύναμη είναι υπεύθυνη για την επιτάχυνση του κέντρου μάζας;

Επανάληψη του πειράματος με διαφορετικές αρχικές συνθήκες, ώστε $U_{\text{cm}} > \omega \cdot R$

Από το μεταβολέα της γωνιακής ταχύτητας δώστε στον τροχό αρχική γωνιακή ταχύτητα $\omega_0 = 5 \text{ rad/sec}$ και αρχική ταχύτητα του κέντρου μάζας: $v_0 = 15 \text{ m/sec}$.

Το ερώτημα

Θα ολισθαίνει κατά την κίνησή του, κατά τη γνώμη σας ο τροχός και αν ναι, ποια θα είναι η φορά της τριβής ολίσθησης;

Ξεκινήστε την προσομοίωση για να επαληθεύσετε τις προβλέψεις σας και στη συνέχεια συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα ξεκινώντας για δεύτερη φορά την προσομοίωση από το κουμπί : <<βήμα- βήμα>>.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Ταχύτητα κέντρου μάζας $U_{\text{cm}}(\text{m/sec})$	Γωνιακή ταχύτητα $\omega(\text{rad/sec})$	U_{cm}/ω (m)	$U_{\text{περ}} = \omega \cdot R$ (m/sec)	Ταχύτητα σημείου επαφής $U = U_{\text{περ}} - U_{\text{cm}}$ (m/sec)
$t_1=0.00$	15	-5	1.5	11,8	
$t_2=0.20$					
$t_3=0.30$					
$t_4=0.40$					
$t_5=0.50$					
$t_6=0.60$					

Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Κίνηση με ολίσθηση (ναι- όχι)	Μέτρο δύναμης τριβής και φορά (αριστερά-δεξιά)
$t_1=0.00$		
$t_2=0.20$		
$t_3=0.30$		
$t_4=0.40$		
$t_5=0.50$		
$t_6=0.60$		

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΝΟΤΗΤΑΣ Ι

A.

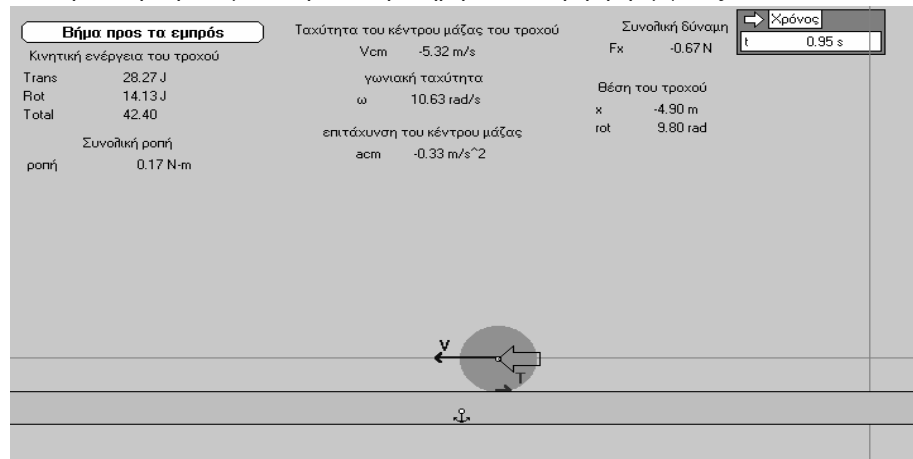
1. Όταν στον τροχό δεν ασκείται εξωτερική δύναμη κατά τη διεύθυνση της κίνησής του, η τριβή που θα εμφανιστεί είναι η τριβή ολίσθησης.
2. Η φορά της τριβής ολίσθησης στο σημείο επαφής του τροχού είναι πάντα αντίθετη της φοράς της ταχύτητας του σημείου επαφής του με το έδαφος.
3. Η τριβή ολίσθησης είναι δυνατόν να αυξάνει την ταχύτητα του κέντρου μάζας του τροχού.
4. Η τριβή ολίσθησης είναι δύναμη σταθερού μέτρου.

B.

1. Συνθήκη κύλισης χωρίς ολίσθηση $v_{cm} = \omega \cdot R$
2. Όταν ο τροχός κυλίεται χωρίς ολίσθηση στο οριζόντιο επίπεδο η στατική τριβή είναι μηδέν.
3. Όταν ο τροχός κυλίεται χωρίς ολίσθηση στο οριζόντιο επίπεδο η κινητική του ενέργεια διατηρείται σταθερή, άρα και η μηχανική του.

Περιβάλλον 2^{ης} προσομοίωσηςΑνοίξτε την 2^η προσομοίωση .

Ξεκινήστε την προσομοίωση και παρατηρήστε, ότι η τριβή εμφανίζεται.

Το ερώτημα

Κατά τη γνώμη σας το σώμα κυλίεται με ολίσθηση όπως πριν;.....

Αρχικές συνθήκες

Δίνονται για τον τροχό: μάζα $m=2\text{kg}$, αρχική ταχύτητα του κέντρου μάζας του: $U_{0\text{cm}}=-5\text{m/sec}$, αρχική γωνιακή ταχύτητα $\omega_0=10\text{ rad/sec}$, ακτίνα $R=0.5\text{m}$, εξωτερική δύναμη $F=-1\text{N}$.

Ξεκινήστε την προσομοίωση <<βήμα-βήμα>> και συμπληρώστε τον πίνακα 3, καταγράφοντας τις τιμές από τους μετρητές

Εκτέλεση του πειράματος-Καταγραφή δεδομένων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Ταχύτητα κέντρου μάζας $U_{\text{cm}}(\text{m/sec})$	Γωνιακή ταχύτητα $\omega(\text{rad/sec})$	U_{cm}/ω (m)	Υπερ= R (m/sec)	Ταχύτητα σημείου επαφής $U = U_{\text{cm}} - U_{\text{cm}} R$ (m/sec)	Θέση $X(\text{m})$
$t_0=0.00$	-5	10	0.5	5	0	
$t_1=0.40$						
$t_2=0.80$						
$t_3=1.20$						
$t_4=1.40$						
$t_5=1.60$						
Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Κίνηση με ολίσθηση (ναι- όχι)	Μέτρο συνολικής δύναμης και φορά (αριστερά-δεξιά)	Μέτρο ολικής κινητικής ενέργειας			
$t_0=0.00$		37.5				
$t_1=0.40$						
$t_2=0.80$						
$t_3=1.20$						
$t_4=1.40$						
$t_5=1.60$						

Επεξεργασία των δεδομένων-συσχετισμοί

Με τις τιμές του πίνακα 3 κάνετε τους παρακάτω υπολογισμούς

Μεταβολή Κινητικής Ενέργειας	$T\sigma = F\omega - F$	$a_{\text{cm}} = (F - T\sigma)/m$	Μετατόπιση	$W_F = F \cdot \Delta x$	Σημειώστε το κατάλληλο σύμβολο: =, >, <	Έργο Στατικής τριβής
$E_{K1} - E_{K0} =$			$X_1 - X_0 =$		ΔE_K W_F	
$E_{K2} - E_{K1} =$			$X_2 - X_0 =$		ΔE_K W_F	
$E_{K3} - E_{K2} =$			$X_3 - X_0 =$		ΔE_K W_F	
$E_{K4} - E_{K3} =$			$X_4 - X_0 =$		ΔE_K W_F	
$E_{K5} - E_{K4} =$			$X_5 - X_0 =$		ΔE_K W_F	

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΝΟΤΗΤΑΣ Ι Ι

1. Η στατική τριβή εμφανίζεται όταν κατά τη φορά της κίνησης του σώματος ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις και έχει πάντα αντίθετη φορά με τη συνισταμένη τους.
2. Το σώμα κάνει επιταχυνόμενη κίνηση, αλλά κάθε χρονική στιγμή ο λόγος U_{cm}/ω παραμένει σταθερός και είναι ίσος με την ακτίνα του τροχού.
3. Η επιτάχυνση του κέντρου μάζας και η γωνιακή επιτάχυνση του σώματος παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια της κίνησής του.
4. Το έργο της στατικής τριβής είναι μηδέν.
5. Για το στερεό σώμα ισχύει το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας,

Περιβάλλον 3^{ης} προσομοίωσης

Ο τροχός κυλιέται χωρίς ολίσθηση ανεβαίνοντας στο κεκλιμένο επίπεδο.

Τα ερωτήματα:

1. Μπορείτε τώρα να προβλέψετε τη φορά της στατικής τριβής, χωρίς να ξεκινήσετε την προσομοίωση;.....
2. Θα αλλάξει η φορά της, όταν ο τροχός θα κατεβαίνει;.....

Αρχικές συνθήκες: Δίνονται για τον τροχό: μάζα $m=0.6\text{kg}$, αρχική ταχύτητα του κέντρου μάζας του: $U_{0cm}=-4\text{m/sec}$, αρχική γωνιακή ταχύτητα $\omega_0=8\text{ rad/sec}$,

.Ξεκινήστε την προσομοίωση <<βήμα-βήμα>> και συμπληρώστε τον πίνακα 4, καταγράφοντας τις τιμές από τους μετρητές

Εκτέλεση του πειράματος-καταγραφή δεδομένων**ΠΙΝΑΚΑΣ 4**

Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Ταχύτητα κέντρου μάζας $U_{cm}(\text{m/sec})$	Γωνιακή ταχύτητα $\omega(\text{rad/sec})$	Συνολική ροπή $\tau(\text{N.m})$	Φορά της στατικής τριβής πάνω-κάτω	Μέτρο συνολικής δύναμης $F(\text{N})$
$t_0=0.00$	-4	8	-0.4	Πάνω	1.6
$t_1=0.40$					
$t_2=0.80$					
$t_3=1.50$					
$t_4=1.80$					
$t_5=2.00$					
$t_6=2.40$					
$t_7=3.00$					
Χρονική στιγμή $t(\text{sec})$	Μέτρο ολικής κινητικής ενέργειας Εολκιν (Joule)	Δυναμική ενέργεια του τροχού Εδυν (Joule)	Μηχανική ενέργεια του τροχού Εμηχ (Joule)		
$t_0=0.00$	7.2	0	7.2		
$t_1=0.40$					
$t_2=0.80$					
.....					
.....					

Επεξεργασία δεδομένων

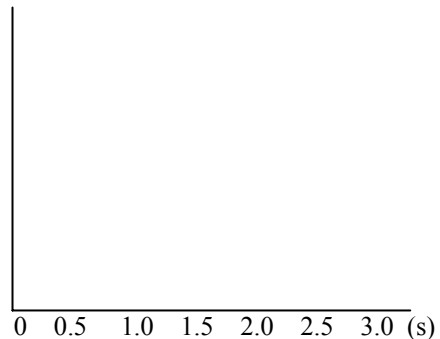
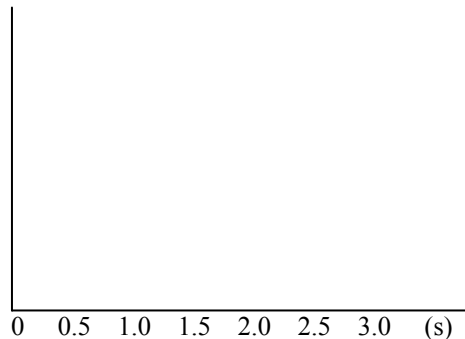
Με τις τιμές του πίνακα 4 να κάνετε τους παρακάτω υπολογισμούς και να επαληθεύσετε τις τιμές των μετρητών συμπληρώνοντας τον πίνακα 5:

α) $Tστ=τ/R$, β) $R=U_{cm}/ω$, γ) $a=F_{ολ}/m$, δ) $U_{cm}=U_0+a.t$, ε) $α=a/R$, στ) $ω=ω_0+α.t$, ζ) $x=u_0.t+1/2.α.t^2$, η) $φ=ω_0.t+1/2.α.t^2$ Να κάνετε τις γραφικές παραστάσεις των μέτρων των ταχυτήτων με το χρόνο.

Χρονική στιγμή t(sec)	$R=U_{cm}/ω$	$Tστ=τ/R$	$a=F_{ολ}/m$	$U_{cm}=U_0+a.t$	$α=a/R$
$t_0=0.00$					
$t_1=0.40$					
$t_2=0.80$					
$t_3=1.50$					
$t_4=1.80$					
$t_5=2.00$					
$t_6=2.40$					
$t_7=3.00$					
Χρονική στιγμή t(sec)	$ω=ω_0+α.t$	$x=u_0.t+1/2.α.t^2$	$φ=ω_0.t+1/2.α.t^2$		
$t_0=0.00$					
$t_1=0.40$					
$t_2=0.80$					
$t_3=1.50$					
$t_4=1.80$					
$t_5=2.00$					
$t_6=2.40$					
$t_7=3.00$					

ταχύτητα (m/sec)

γωνιακή ταχύτητα (rad/sec)



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΝΟΤΗΤΑΣ Ι Ι Ι

Το έργο της στατικής τριβής είναι μηδέν. Η μηχανική ενέργεια του τροχού διατηρείται σταθερή, αν δεν ασκούνται σ' αυτόν μη διατηρητικές εξωτερικές δυνάμεις. Για την ταχύτητα του Κ.Μ., την γωνιακή ταχύτητα, την μετατόπιση και τη γωνία που διαγράφει ο τροχός, ισχύουν οι αντίστοιχες χρονικές εξισώσεις της ταχύτητας και της μετατόπισης στις ομαλά μεταβαλλόμενες κινήσεις.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως φαίνεται από την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων, η προσομοιωτική παρουσίαση της κύλισης μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην κατανόηση των εννοιών της Φυσικής που εμπλέκονται στην ανάλυση του φαινομένου αυτού. Η πολυπλοκότητα του θέματος καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την εκπαιδευτική παρουσίαση μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού, και βοηθά στην αποτελεσματικότερη λειτουργία της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή αναπτύχθηκε στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων της Ομάδας Παιδείας του Παραρτήματος Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, με την υποστήριξη του προέδρου του Παραρτήματος κ. Δ. Κυριάκου, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ., και του υπευθύνου της Ομάδας Παιδείας κ. Η. Ξανθόπουλου, Φυσικού Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Arons, (1992), *Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής*, μτφρ. Α.Βαλαδάκης, Εκδόσεις Τροχαλία, Αθήνα.
2. Halliday – Resnick, (1976), *Φυσική μέρος Α'*, μτφρ. Ε. Πνευματικός, Εκδόσεις Πνευματικού, Αθήνα.
3. Hewitt, P. (1992), *Οι έννοιες της Φυσικής*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
4. Young, H. (1994), *Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Α'*, μτφρ. Ε. Αναγνωστάκης, εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα
5. Ιωάννου, Α. κ.ά., (2002), *Φυσική Γ' Λυκείου Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης*, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα.
6. Καρακώστας, Θ. –Δ. Κυριάκος, (1998), *Φυσική – Εισαγωγή στη Μηχανική*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
7. Μιχαλοδημητράκης, Μ., (1987), *Περί τριβής*, Διδακτικές Σημειώσεις.