

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΛΑΓΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

[Π. Μουρούζης, Γ. Παληός, Κ. Παπαμιχάλης, Γ. Τουντουλίδης, Τζ. Τσιτοπούλου, Ι. Χριστακόπουλος]

### Για το μαθητή

#### ► Στόχοι

Οι μαθητές να αποκτήσουν τις ακόλουθες δεξιότητες:

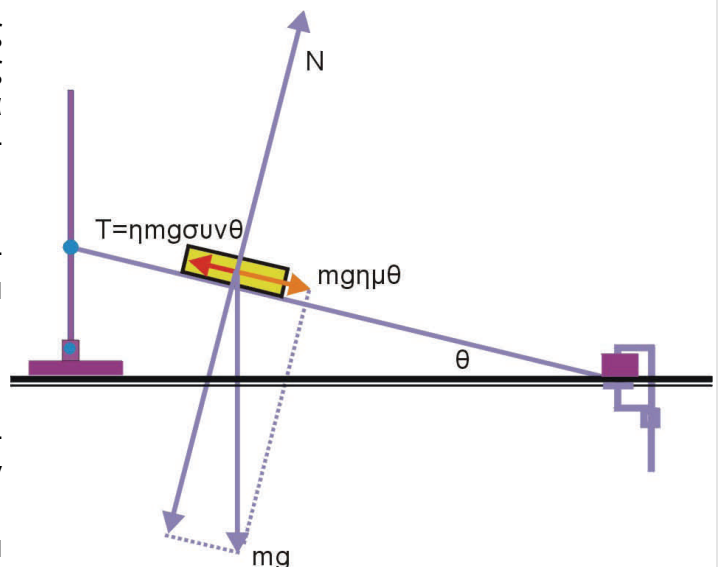
1. Να σχεδιάζουν πειραματική διάταξη με τη βοήθεια της οποίας να μπορούν να προσδιορίζουν το συντελεστή τριβής μεταξύ δύο επιφανειών, όταν η μια κινείται σε σχέση με την άλλη:
  - α) με σταθερή ταχύτητα
  - β) με σταθερή επιτάχυνση
2. Να μετρούν την γωνία κλίσης κεκλιμένου επιπέδου.
3. Να περιγράφουν πως λαμβάνεται η πειραματική καμπύλη θέσης – χρόνου σώματος, χρησιμοποιώντας σύστημα συγχρονικής λήψης και απεικόνισης (ΣΣΛΑ).
4. Από την πειραματική καμπύλη θέσης – χρόνου να υπολογίζουν την επιτάχυνση του σώματος.
5. Να προσδιορίζουν το συντελεστή τριβής ολίσθησης μεταξύ κεκλιμένου επιπέδου και σώματος: όταν το σώμα κινείται ως προς την επιφάνεια:
  - α) σε συνάρτηση με την ελάχιστη γωνία του κεκλιμένου επιπέδου για την οποία το σώμα κινείται, όταν κινείται με σταθερή ταχύτητα σε σχέση με το κεκλιμένο επίπεδο
  - β) σε συνάρτηση με την επιτάχυνση του σώματος και την γωνία κλίσης του κεκλιμένου επιπέδου όταν κινείται με σταθερή επιτάχυνση σε σχέση με το κεκλιμένο επίπεδο
6. Να συγκρίνουν τις τιμές του συντελεστή τριβής ολίσθησης μεταξύ του σώματος και του επιπέδου, που προέκυψαν με τις δύο πειραματικές διαδικασίες και από τη σύγκριση αυτή να αξιολογούν: α) τις υποθέσεις που προσδιορίζουν το θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποίησαν για τους υπολογισμούς τους και β) την αξιοπιστία των οργάνων και των υλικών που απαρτίζουν την πειραματική διάταξη.

#### ► Θεωρητικές επισημάνσεις

Σε αυτή την εργαστηριακή άσκηση θα μελετήσουμε την κίνηση ενός αμαξιδίου (χωρίς ρόδες), μάζας  $m$ , που ολισθαίνει κατά μήκος πλάγιας επίπεδης σανίδας. Η πλάγια σανίδα σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο γωνία κλίσης  $\theta$  (εικόνα 1).

Όταν αφήσουμε το αμαξίδιο πάνω στην πλάγια σανίδα να κινηθεί, πάνω του ασκούνται οι εξής δυνάμεις:

- Το βάρος του  $mg$ .
- Η αντίδραση της επιφάνειας της σανίδας, που αναλύεται σε δύο κάθετες συνιστώσες: Στη δύναμη  $N$ , που είναι κάθετη στην επιφάνεια και στην τριβή ολίσθησης  $T$ , που είναι παράλληλη με την επιφάνεια και έχει κατεύθυνση αντίθετη της ταχύτητας του αμαξιδίου.



Εικόνα 1

Υποθέτουμε ότι η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα σε σχέση με τη δύναμη της τριβής ολίσθησης.

$$\sum F_x = m \cdot a \quad \text{ή} \quad m \cdot g \cdot \eta\mu\theta - T = m \cdot a$$

$$\sum F_y = 0 \quad \text{ή} \quad N = m \cdot g \cdot \sigma\upsilon\nu\theta$$

$$\text{και} \quad T = \mu N$$

Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει:

$$mg\eta\mu\theta - \mu mg\sigma\upsilon\nu\theta = ma$$

$$\text{ή} \quad \mu g\sigma\upsilon\nu\theta = g\eta\mu\theta - a \quad \text{οπότε:}$$

$$\boxed{\mu = \varepsilon\phi\theta - \frac{a}{g\sigma\upsilon\nu\theta}} \quad (1)$$

όπου  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g=9,8\text{m/s}^2$ ).

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι η επιτάχυνση του αμαξιδίου είναι σταθερή. Επομένως, αν η αρχική του ταχύτητα είναι μηδέν, η κίνησή του θα είναι ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη. Επιπλέον, από την σχέση (1) μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης σε συνάρτηση με την επιτάχυνση του αμαξιδίου:

### **Διερεύνηση της σχέσης (1):**

A) Όταν η γωνία  $\theta$  έχει ελάχιστη τιμή ( $\theta_{\min.}$ ), ώστε το αμαξίδιο να κινείται με σταθερή ταχύτητα όταν του προσδώσουμε ελαφρά ώθηση, τότε η επιτάχυνσή του είναι μηδενική. Στην περίπτωση αυτή η σχέση (1) παίρνει τη μορφή:

$$\mu = \varepsilon\phi\theta_{\min} \quad (2)$$

Έτσι αν μετρήσουμε τη γωνία  $\theta_{\min.}$ , μέσω της σχέσης (2), μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης  $\mu$ .

B) Όταν η γωνία κλίσης  $\theta$  είναι μεγαλύτερη της ελάχιστης ( $\theta > \theta_{\min.}$ ), τότε το αμαξίδιο θα κινηθεί κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου με σταθερή επιτάχυνση  $a$ . Αν μετρήσουμε την επιτάχυνση  $a$ , και τη γωνία  $\theta$ , τότε μέσω της σχέσης (1), μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης  $\mu$ .

Η θέση του αμαξιδίου κατά την ομαλά μεταβαλλόμενη καθοδική του κίνηση στο κεκλιμένο επίπεδο προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$x = x_0 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t - t_0)^2 \quad (3)$$

### **Πειραματικός προσδιορισμός της επιτάχυνσης του αμαξιδίου**

Χρησιμοποιούμε τον αισθητήρα θέσης του ΣΣΛΑ και καταγράφουμε την απόσταση (θέση)  $x$  του αμαξιδίου από τον αισθητήρα, σε διάφορες χρονικές στιγμές, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του συστήματος.

Έστω ότι το αμαξίδιο αρχίζει να κινείται τη χρονική στιγμή  $t=t_0$ , από τη θέση  $x_0$  (απόσταση  $x_0$  από τον αισθητήρα). Αφού κινείται με σταθερή επιτάχυνση  $a$ , η θέση του τη χρονική στιγμή  $t$ , δίνεται από τη σχέση:

Από το γράφημα θέσης – χρόνου που λαμβάνουμε από το ΣΣΛΑ, μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή  $a$  της σχέσης (3), δηλαδή την επιτάχυνση του αμαξιδίου. Έτσι, μετρώντας και τη γωνία κλίσης  $\theta$  της πλάγιας σανίδας, μπορούμε να υπολογίσουμε πειραματικά το συντελεστή τριβής ολίσθησης  $\mu$ , σύμφωνα με τη σχέση (1).

**Συμπέρασμα:** Από τη διερεύνηση της σχέσης (1) προέκυψε ότι μπορούμε να υπολογίσουμε πειραματικά το συντελεστή τριβής ολίσθησης ( $\mu$ ) με δύο διαφορετικές διαδικασίες:

A) Μέσω της μέτρησης της ελάχιστης γωνίας  $\theta_{\min}$ .

B) Μέσω της μέτρησης της επιτάχυνσης του αμαξιδίου, όταν η γωνία κλίσης του πλάγιου επιπέδου είναι μεγαλύτερη της ελάχιστης.

Αν το θεωρητικό μας μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά το παρατηρούμενο φαινόμενο της κίνησης του αμαξιδίου πάνω στην πλάγια σανίδα, και εφόσον η πειραματική μας διάταξη ικανοποιεί τις απαιτήσεις του μοντέλου, οι δύο τιμές του συντελεστή τριβής ολίσθησης πρέπει να είναι (σχεδόν) ίσες. Η όποια διαφορά τους θα οφείλεται:

α) σε σφάλματα μέτρησης,

β) σε ατέλειες της πειραματικής διάταξης (για παράδειγμα, η σανίδα μπορεί να παρουσιάζει καμπυλότητα, η επιφάνειά της να παρουσιάζει ανομοιογενείς ανωμαλίες, κλπ).

## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τάξη και τμήμα: \_\_\_\_\_

Ημερομηνία: \_\_\_\_\_

Όνομα μαθητή: \_\_\_\_\_

### Πειραματική δραστηριότητα Α

- 1) Καταγράψτε στον πίνακα Α τις τιμές της ελάχιστης γωνίας ( $\theta_{\min}$ ), για την οποία το σώμα κινείται ευθύγραμμα και ομαλά πάνω στην πλάγια σανίδα και υπολογίστε τη μέση τιμή της.
- 2) Πώς σχετίζεται η τιμή της  $\theta_{\min}$  με το συντελεστή τριβής ολίσθησης (βλέπε θεωρητικές επισημάνσεις); Από τη σχέση αυτή υπολογίστε την τιμή του συντελεστή τριβής ολίσθησης  $\mu$  (με προσέγγιση μέχρι δύο δεκαδικά ψηφία).

---

---

---

---

$$\mu = \underline{\hspace{2cm}}$$

### Πειραματική δραστηριότητα Β

- 1) Πόση είναι η τιμή της γωνίας κλίσης του πλάγιου επιπέδου;

---

---

---

$$\theta = \underline{\hspace{2cm}} \text{ μοίρες}$$

- 2) Τα πειραματικά σημεία θέσης-χρόνου, που ελήφθησαν με το σύστημα MBL, βρίσκονται σε ικανοποιητικό βαθμό πάνω σε μια παραβολή; **(ΝΑΙ - ΟΧΙ)**  
Τι είδους κίνηση κάνει το σώμα;

---

---

- 3) Ποια είναι η εξίσωση της κίνησης του σώματος, που μελετήσαμε πειραματικά; Πόση είναι η επιτάχυνση του σώματος;

---

---

---

---

$$a = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$$

- 4) Πώς σχετίζεται η επιτάχυνση του σώματος με τη γωνία κλίσης του πλάγιου επιπέδου και το συντελεστή τριβής ολίσθησης, σύμφωνα με τη θεωρία (βλέπε θεωρητικές επισημάνσεις);

---

---

---

- 5) Με βάση τη σχέση αυτή και τις πειραματικές τιμές της γωνίας κλίσης της σανίδας και της επιτάχυνσης του σώματος, υπολογίστε το συντελεστή τριβής ολίσθησης  $\mu$  (με προσέγγιση μέχρι

δύο δεκαδικά ψηφία).

---

---

---

---

---

$$\mu' = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 6) Συγκρίνατε τις τιμές του  $\mu$ , που βρήκατε στις δύο πειραματικές δραστηριότητες. Υπολογίστε τη διαφορά τους επί τοις εκατό:

$$\sigma_{\%} = \frac{|\Delta\mu|}{\mu} 100\% = \frac{|\mu - \mu'|}{\mu} 100\% = \dots\dots\dots\%$$

Ποιοι από τους ακόλουθους παράγοντες ευθύνονται για την παρατηρούμενη διαφορά; (Τεκμηριώστε τις απόψεις σας).

- α) Το θεωρητικό μοντέλο είναι απλοϊκό και δεν λαμβάνει υπόψη παραμέτρους, που ενδεχομένως επηρεάζουν σημαντικά το πειραματικό αποτέλεσμα, όπως η αντίσταση του αέρα.
- β) Η επιφάνεια της σανίδας δεν είναι τόσο ομοιογενής ώστε να ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις του θεωρητικού μοντέλου.
- γ) Η επιφάνεια της σανίδας παρουσίαζε τοπικά μεταβλητή ακτίνα καμπυλότητας (δεν ήταν εντελώς επίπεδη), με αποτέλεσμα να εισάγεται σημαντικό συστηματικό σφάλμα στη μέτρηση της γωνίας κλίσης.
- δ) Ο νόμος της τριβής ολίσθησης ή οι νόμοι του Νεύτωνα ή και τα δύο εκφράζουν σχέσεις μεγεθών που περιγράφουν κατά προσέγγιση τα φαινόμενα της Μηχανικής. Αποτέλεσμα αυτής της προσεγγιστικής περιγραφής είναι η παρατηρούμενη διαφορά στις μετρήσεις του συντελεστή τριβής ολίσθησης.

α) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

β) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

γ) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

δ) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_