

## **ΤΡΙΒΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ( ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ Ή ΤΟ MULTILOG )**

### **A. ΣΤΟΧΟΙ**

- Η εφαρμογή των νόμων της Μηχανικής στη μελέτη της κίνησης σώματος, που ολισθαίνει κατά μήκος πλάγιου επιπέδου.
- Η συναρμολόγηση απλής πειραματικής διάταξης με κεκλιμένο επίπεδο.
- Η μέτρηση γωνιών είτε με μοιρογνωμόνιο, είτε τριγωνομετρικά .
- Η χρήση του Συστήματος Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (ΣΣΛΑ).
- Η αξιολόγηση των υποθέσεων που προσδιορίζουν το θεωρητικό μοντέλο, που χρησιμοποιούμε για τους υπολογισμούς.
- Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των οργάνων και των υλικών, που απαρτίζουν την πειραματική μας διάταξη.

### **B. ΘΕΜΑ**

- Η μέτρηση της οριακής γωνίας  $\theta_{op}$ , στην οποία έχουμε ομαλή κίνηση.
- Ο υπολογισμός του συντελεστή τριβής ολίσθησης μεταξύ της επιφάνειας και του αμαξιδίου συναρτήσει της οριακής γωνίας  $\theta_{op}$ .
- Η λήψη της πειραματικής καμπύλης θέσης – χρόνου του αμαξιδίου, χρησιμοποιώντας το Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (ΣΣΛΑ) και ο υπολογισμός από αυτήν της επιτάχυνσης του αμαξιδίου.
- Ο υπολογισμός του συντελεστή τριβής ολίσθησης μεταξύ του αμαξιδίου και του επιπέδου συναρτήσει της επιτάχυνσης του αμαξιδίου και της γωνίας κλίσης του επιπέδου.
- Η σύγκριση των τιμών του συντελεστή τριβής ολίσθησης μεταξύ του αμαξιδίου και του επιπέδου, που προέκυψαν με τις δύο πειραματικές διαδικασίες.

### **Γ. ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

- Επίπεδη σανίδα μήκους περίπου 1 m ( π.χ. η επιφάνεια ενός θρανίου )
- Ορθογώνιο ξύλινο ή άλλο παραλληλεπίπεδο αμαξίδιο χωρίς τροχούς (π.χ. χάρτινο κουτί)
- Μεταλλική βάση στήριξης, σύνδεσμοι, σφιγκτήρες, δύο μεταλλικές ράβδοι 1 m και μία 0,4 m
- Μετροταινία
- Αλφάδι εργαστηρίου με μοιρογνωμόνιο
- Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης DBLab, με αισθητήρα θέσης
- Η/Υ με το λογισμικό του DBLab της Fourier

### **Δ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ**

- Για την πραγματοποίηση και κατανόηση της άσκησης πρέπει να έχουν διδαχθεί οι παρακάτω ενότητες από το σχολικό βιβλίο Α' τάξης Γενικού Λυκείου :
  - ✓ § 1.3.1 Νόμος Δράσης – Αντίδρασης
  - ✓ § 1.3.2 Δυνάμεις από επαφή και από απόσταση
  - ✓ § 1.3.7 Ο νόμος της τριβής
  - ✓ § 1.3.9 Ο 2<sup>ος</sup> νόμος του Νεύτωνα σε διανυσματική και σε αλγεβρική μορφή

## Ε. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

- Υποθέτοντας ότι η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα σε σχέση με τη δύναμη της τριβής ολίσθησης  $T$ , εφαρμόζουμε για την κίνηση του αμαξιδίου :
  - ✓ τον 2<sup>ο</sup> νόμο του Νεύτωνα κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου (άξονας  $x'x$ ) και κατά μήκος της κάθετης στο πλάγιο επίπεδο (άξονας  $y'y$ ) και
  - ✓ το νόμο της τριβής :

$$\sum F_x = m a \quad \Rightarrow \quad m g \eta \mu \theta - T = m a$$

$$\sum F_y = 0 \quad \Rightarrow \quad N - m g \sigma \nu \theta = 0$$

$$T = \mu N$$

- Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει ότι :
  - ✓ η επιτάχυνση  $a$  του αμαξιδίου είναι σταθερή
  - ✓ ο συντελεστής τριβής ολίσθησης  $\mu$  είναι :

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

### Διερεύνηση της σχέσης (1) :

- A) Όταν η γωνία κλίσης  $\theta$  παίρνει οριακή τιμή ( $\theta = \theta_{op}$ ), τότε το αμαξίδιο θα κινηθεί κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου με σταθερή ταχύτητα ( $a = 0$ ), οπότε ο συντελεστής τριβής ολίσθησης  $\mu$  υπολογίζεται από τη σχέση (1), που παίρνει τη μορφή :

$$\mu = \epsilon \phi \theta_{op} \quad (2)$$

- B) Όταν η γωνία κλίσης  $\theta$  είναι μεγαλύτερη της οριακής ( $\theta > \theta_{op}$ ), τότε το αμαξίδιο θα κινηθεί κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου με σταθερή επιτάχυνση  $a$ . Σ' αυτή την περίπτωση ο συντελεστής τριβής ολίσθησης  $\mu$  υπολογίζεται από τη σχέση (1) αν μετρήσουμε τη γωνία  $\theta$  και την επιτάχυνση  $a$ .

### Πειραματικός υπολογισμός της επιτάχυνσης $a$ του αμαξιδίου με το multilog :

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

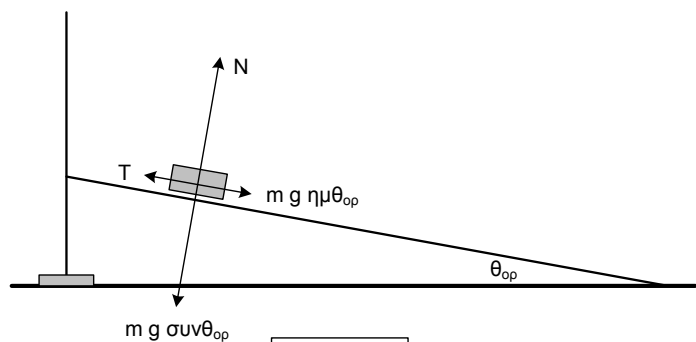
$$x = x_0 + \frac{1}{2} a (t - t_0)^2 \quad (3)$$

Από το γράφημα  $x - t$  που παίρνουμε από το ΣΣΛΑ, μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή  $\frac{1}{2} a$  της σχέσης (3) και από αυτόν την επιτάχυνση  $a$  του αμαξιδίου.

## ► ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ Α (ΠΛΑΓΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ)

### ΣΤ. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

- Συναρμολογούμε την πειραματική διάταξη, που εικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 1.
- Ρυθμίζουμε τη θέση της πλάγιας σανίδας, ώστε το αμαξίδιο να κινείται αργά, όταν το σπρώχνουμε ελαφρά προς τη χαμηλότερη άκρη της πλάγιας σανίδας. Τότε η γωνία κλίσης του πλάγιου επιπέδου είναι ίση με την οριακή γωνία ( $\theta_{op}$ ).



Σχήμα 1

**Z. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

1. Μετράμε την οριακή γωνία κλίσης  $\theta_{op}$  πέντε (5) φορές, καταγράφουμε τις τιμές της στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
2. Υπολογίζουμε τη μέση τιμή της οριακής γωνίας και καταγράφουμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
3. Υπολογίζουμε την  $\epsilon\phi\theta_{op}$  και καταγράφουμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
4. Υπολογίζουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης και καταγράφουμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ / ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ						
	1	2	3	4	5	Μέση τιμή $\theta_{op}$
Οριακή γωνία κλίσης $\theta_{op}$						
					$\epsilon\phi\theta_{op}$	
Συντελεστής τριβής ολίσθησης σε πλάγιο επίπεδο : $\mu_1 = \epsilon\phi\theta_{op}$						

**► ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ Β (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ)****ΣΤ. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ**

- Τοποθετούμε την ίδια σανίδα σε οριζόντια θέση πάνω στον πάγκο εργασίας.

**Z. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

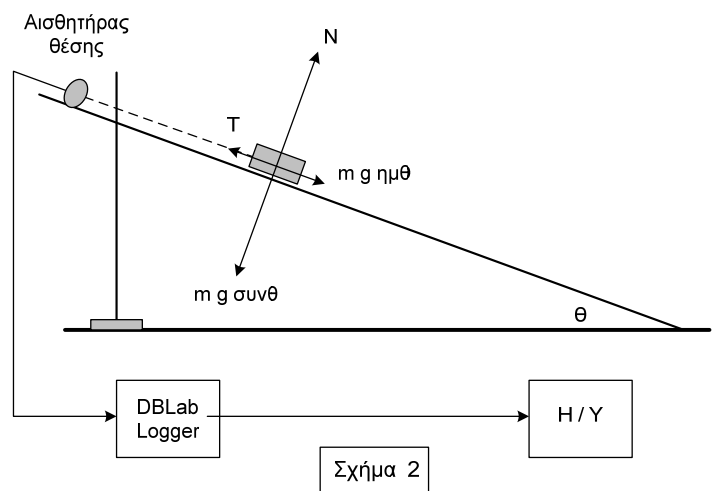
1. Ζυγίζουμε το αμαξίδιο και σημειώνουμε το βάρος του B στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
2. Τραβάμε μέσω ευαίσθητου δυναμόμετρου το αμαξίδιο πάνω στην οριζόντια σανίδα, ώστε να κινείται με σταθερή ταχύτητα και σημειώνουμε την ένδειξη F του δυναμόμετρου στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
3. Είναι  $v = \text{σταθ.} \Rightarrow a = 0 \xrightarrow{\text{(άξονας x)}} F - T = 0 \Rightarrow T = F$ . Καταγράφουμε την τιμή της τριβής στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
4. Στον κατακόρυφο άξονα y ισχύει  $N - B = 0 \Rightarrow N = B$ . Καταγράφουμε την τιμή της κάθετης αντίδρασης N στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
5. Από τη σχέση  $T = \mu N \Rightarrow \mu = T / N$  υπολογίζουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 2.
6. Υπολογίζουμε το σχετικό σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών του συντελεστή τριβής  $\mu_1$  και  $\mu_2$  που υπολογίσαμε και καταχωρούμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 2 [  $\sigma \% = (\mu_2 - \mu_1) / \mu_2 \cdot 100 \%$  ].

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ / ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ			
ΜΕΓΕΘΟΣ		ΤΙΜΗ	
Βάρος αμαξιδίου	B		N
Ένδειξη δυναμόμετρου για σταθερή ταχύτητα κίνησης αμαξιδίου	F		N
Τριβή : $T = F$	T		N
Κάθετη αντίδραση επιπέδου : $N = B$	N		N
Συντελεστής τριβής ολίσθησης σε οριζόντιο επίπεδο : $\mu_2 = T / N$	$\mu_2$		
Σχετικό σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών του συντελεστή τριβής : $\sigma_1 \% = (\mu_2 - \mu_1) / \mu_2 \cdot 100 \%$	$\sigma_1 \%$		%

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ Γ (MULTIOLOG)

### ΣΤ. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

- Συνδέουμε τον καταγραφέα του ΣΣΛΑ DBLab (σε κατάσταση OFF) με υπολογιστή, στον οποίο έχει εγκατασταθεί το λογισμικό του συστήματος.
- Συνδέουμε τον αισθητήρα θέσης στην πρώτη υποδοχή αισθητήρων του καταγραφέα.
- Τοποθετούμε τον αισθητήρα θέσης όπως φαίνεται στο σχήμα 2, έτσι ώστε η επιφάνειά του, που εκπέμπει το ηχητικό σήμα, να είναι κάθετη στον άξονα πάνω στον οποίο κινείται το αμαξίδιο. Φροντίζουμε ώστε η ελάχιστη απόσταση του αμαξιδίου από τον αισθητήρα να είναι πάντοτε μεγαλύτερη των 40 cm.
- Ρυθμίζουμε τη θέση της πλάγιας σανίδας ώστε η γωνία κλίσης  $\theta$  να είναι μεγαλύτερη της οριακής ( $\theta > \theta_{op}$ ).



### Ζ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### Λήψη μετρήσεων

1. Μέτρηση της γωνίας του κεκλιμένου επιπέδου : Μετράμε τη γωνία κλίσης  $\theta$  πέντε (5) φορές και καταγράφουμε τις τιμές της στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
2. Προετοιμασία καταγραφέα : Ενεργοποιούμε τον καταγραφέα και αφού ολοκληρώσει τις ρυθμίσεις του, τότε ενεργοποιούμε και το λογισμικό του συστήματος. Επιλέγουμε από το μενού εντολών τα εξής :
  - α ) «Καταγραφέας» / «Πίνακας ελέγχου» και στο παράθυρο που ανοίγει :
  - β ) «Είσοδος 1» : Διάστημα
  - γ ) «Σημεία» : 2000
  - δ ) «Ρυθμός» : 100 / sec ( συνολικός χρόνος του πειράματος 20 s )
3. Λήψη μετρήσεων : Κρατάμε το αμαξίδιο ακίνητο στην αρχική του θέση και στο ίδιο παράθυρο ενεργοποιούμε το πλήκτρο :
  - α ) «Λήψη Δεδομένων», οπότε αρχίζει να δημιουργείται αυτόματα στην οθόνη του H/Y το γράφημα θέσης – χρόνου.
  - β) Περιμένουμε λίγο μέχρι να ακούσουμε τον χαρακτηριστικό ήχο λειτουργίας του αισθητήρα και τότε αφήνουμε το αμαξίδιο ελεύθερο
4. Επεξεργασία γραφήματος : Στο «γράφημα θέσης – χρόνου» κάνουμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις :
  - α ) Επιλέγουμε χρησιμοποιώντας τους δύο δείκτες την περιοχή του γραφήματος που αντιστοιχεί στην κίνηση του αμαξιδίου κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου ( κάθε δείκτης εμφανίζεται με διπλό κλικ ).
  - β) Μεγεθύνουμε την επιλεγμένη περιοχή από το μενού εντολών :
  - γ ) «Προβολή» / «Μεγέθυνση» ( ή κατ' ευθείαν : «Γραμμή εργαλείων» / κουμπί «Μεγέθυνση» ). Επιλέγουμε από το μενού εντολών τα εξής :
  - δ ) «Προβολή» / «Οθόνη» και στο παράθυρο που ανοίγει στα «Χαρακτηριστικά Γραφήματος» τις παρακάτω επιλογές ώστε στο γράφημα να εμφανίζονται μόνο τα πειραματικά σημεία και όχι η συνεχής γραμμή :
  - ε ) «Πάχος γραμμής» : «Τίποτα»
  - στ ) «Σύμβολο» : « . » τελίτσα
5. Εύρεση της συνάρτησης  $2^{ου}$  βαθμού : Επιλέγουμε από το μενού εντολών :
  - α ) «Ανάλυση» / «Περισσότερα» και στο παράθυρο που ανοίγει :

- β) «Συνάρτηση» : «Τετραγωνική παλινδρόμηση» ,  
 οπότε το πρόγραμμα θα αναγράψει κάτω από το γράφημα τη βέλτιστη συνάρτηση 2<sup>ου</sup> βαθμού, που προσαρμόζεται στα πειραματικά σημεία.
6. Διαβάζουμε το συντελεστή ( $\lambda$ ) του δευτεροβάθμιου όρου (χρόνου), στη συνάρτηση  $x = x_0 + \frac{1}{2} a (t - t_0)^2$  και καταγράφουμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ					
Μετρήσεις	1	2	3	4	5
Γωνία κλίσης $\theta$					
Συντελεστής δευτεροβάθμιου όρου (χρόνου) : $\lambda$					

### Επεξεργασία μετρήσεων

7. Σημειώνουμε τη τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
8. Υπολογίζουμε τη μέση τιμή των γωνιών  $\theta$  του ΠΙΝΑΚΑ 3 και καταγράφουμε την τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
9. Υπολογίζουμε την εφθ και το συνθ και καταγράφουμε τις τιμές τους στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
10. Υπολογίζουμε την επιτάχυνση καθόδου  $a$  του αμαξιδίου από τον συντελεστή  $\lambda$  του ΠΙΝΑΚΑ 3 μέσω της σχέσης  $a/2 = \lambda \Rightarrow a = 2\lambda$  και καταγράφουμε τη τιμή της στον ΠΙΝΑΚΑ 4.
11. Υπολογίζουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης και καταγράφουμε την τιμή του στον ΠΙΝΑΚΑ 4 ( $\mu = \text{εφ}\theta - a/g \text{ συν}\theta$ ).
12. Υπολογίζουμε το σχετικό σφάλμα μεταξύ των τιμών  $\mu_3 - \mu_1$  και  $\mu_3 - \mu_2$  του συντελεστή τριβής που υπολογίσαμε και καταχωρούμε τις τιμές τους στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
13. Συγκρίνουμε τις τιμές του συντελεστή τριβής ολίσθησης που υπολογίσαμε, αιτιολογούμε τη διαφορά των τιμών τους και συμπληρώνουμε το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ του ΠΙΝΑΚΑ 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ			
ΜΕΓΕΘΟΣ		ΤΙΜΗ	
Επιτάχυνση βαρύτητας	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
Μέση τιμή των γωνιών κλίσης : $\theta = \Sigma\theta / 5$	$\theta$		( $^\circ$ )
Υπολογισμός εφθ	εφθ		
Υπολογισμός συνθ	συνθ		
Επιτάχυνση καθόδου του αμαξιδίου : $a = 2\lambda$	$a$		$\text{m/s}^2$
Συντελεστής τριβής ολίσθησης με MultiLog : $\mu = \text{εφ}\theta - a/g \text{ συν}\theta$	$\mu_3$		
Σχετικό σφάλμα : $\sigma_2 \% = (\mu_3 - \mu_1) / \mu_3 \cdot 100 \%$	$\sigma_2 \%$		%
Σχετικό σφάλμα : $\sigma_3 \% = (\mu_3 - \mu_2) / \mu_3 \cdot 100 \%$	$\sigma_3 \%$		%
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ :			
.....			
.....			
.....			



