

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

ΕΚΦΕ Α & Β ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Στόχοι

Μετά το πέρας της εργαστηριακής άσκησης, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

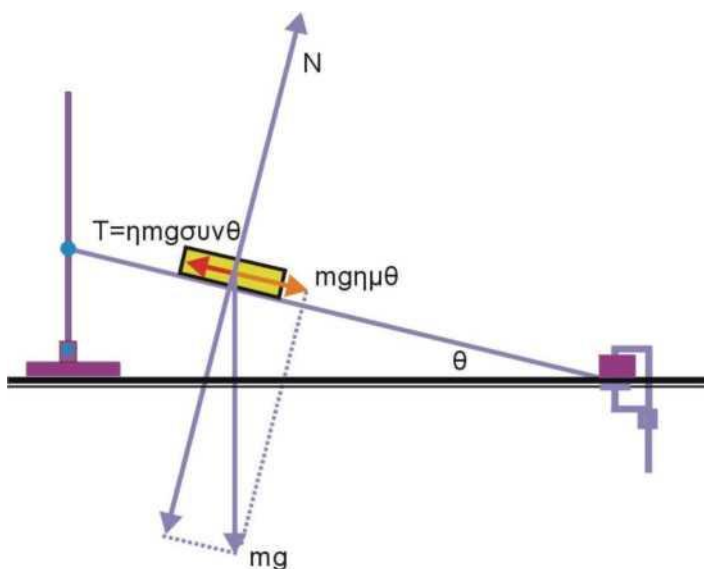
1. Να σχεδιάζουν πειραματική διάταξη με τη βοήθεια της οποίας να μπορούν να προσδιορίζουν το συντελεστή τριβής μεταξύ δύο επιφανειών, όταν η μια κινείται σε σχέση με την άλλη με σταθερή επιτάχυνση
2. Να μετρούν την γωνία κλίσης κεκλιμένου επιπέδου.
3. Από την πειραματική καμπύλη ταχύτητας - θέσης να υπολογίζουν την επιτάχυνση του σώματος.
4. Να προσδιορίζουν το συντελεστή τριβής ολίσθησης μεταξύ κεκλιμένου επιπέδου και σώματος: όταν το σώμα κινείται ως προς την επιφάνεια:
 - A) σε συνάρτηση με την επιτάχυνση του σώματος και την γωνία κλίσης του κεκλιμένου επιπέδου όταν αυτό κινείται με σταθερή επιτάχυνση σε σχέση με το κεκλιμένο επίπεδο
 - B) σε συνάρτηση με την ελάχιστη γωνία του κεκλιμένου επιπέδου για την οποία το σώμα κινείται, με σταθερή ταχύτητα σε σχέση με το κεκλιμένο επίπεδο
5. 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 θ** (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.

$$\Sigma F_x = m \cdot a \Leftrightarrow m \cdot g \cdot \eta\mu\theta - T = m \cdot a$$

$$\Sigma F_y = 0 \Leftrightarrow m \cdot g \cdot \sigma\upsilon\nu\theta = N$$

και $T = \mu \cdot N$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$m \cdot g \cdot \eta\mu\theta - \mu \cdot m \cdot g \cdot \sigma\upsilon\nu\theta = m \cdot a \Leftrightarrow \mu \cdot g \cdot \sigma\upsilon\nu\theta = g \cdot \eta\mu\theta - a$$

Οπότε

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

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 τη σχέση (1) μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης σε συνάρτηση με την επιτάχυνση του αμαξιδίου.

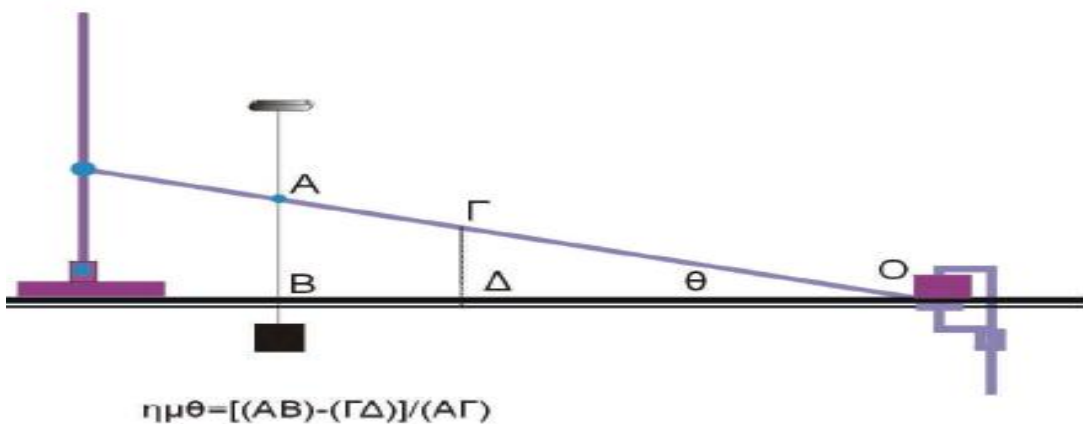
Διερεύνηση της σχέσης (1):

Α) Όταν η γωνία θ έχει ελάχιστη τιμή (θ_{\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:

$$\mu = \frac{g \cdot \eta\phi\theta_{\min}}{g \cdot \sigma\upsilon\nu\theta_{\min}} \quad (2)$$

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

Σημείωση



Εικόνα 2

Αν δεν διαθέτετε αλφάδι, μετρήστε με την μετροταινία, την υψομετρική διαφορά δυο σημείων, Α και Γ της πλευράς (πλάγια άκρη) της σανίδας και την μεταξύ τους απόσταση. Για να βρείτε την υψομετρική διαφορά των Α και Γ, μετρήστε τις αποστάσεις τους (ΑΒ) και (ΓΔ) από το οριζόντιο επίπεδο (καπάκι του θρανίου ή το δάπεδο της αίθουσας. (εικόνα 2) Ο λόγος της **υψομετρικής διαφοράς (ΑΒ)-(ΓΔ)** τους, προς την μεταξύ τους απόσταση (ΑΓ), ισούται με το **ημίτονο της γωνίας κλίσης** της σανίδας:

$$\frac{(ΑΒ) - (ΓΔ)}{(ΑΓ)} = \eta\mu\theta$$

Φροντίστε τα δυο σημεία να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, στην περιοχή κίνησης του αμαξιδίου και η γωνία κλίσης της σανίδας, να μην υπερβαίνει τις 10° .

Β) Όταν η γωνία κλίσης θ είναι μεγαλύτερη της ελάχιστης ($\theta > \theta_{\min}$), τότε το αμαξίδιο θα κινηθεί κατά μήκος του πλάγιου επιπέδου **με σταθερή επιτάχυνση α**.
Αν μετρήσουμε την επιτάχυνση α, και τη γωνία θ, τότε μέσω της σχέσης (1), μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή τριβής ολίσθησης μ .
 Η θέση του αμαξιδίου κατά την ομαλά μεταβαλλόμενη καθοδική του κίνηση στο κεκλιμένο επίπεδο προσδιορίζεται από τη σχέση:

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

Πειραματικός προσδιορισμός της επιτάχυνσης α του αμαξιδίου

Όταν ένα σώμα κινείται ευθύγραμμα με **σταθερή επιτάχυνση α**, χωρίς αρχική ταχύτητα, τότε η θέση του **x** και η ταχύτητά του κάθε χρονική στιγμή **t**, προσδιορίζονται από τις εξισώσεις:

$$x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$v = a \cdot t$$

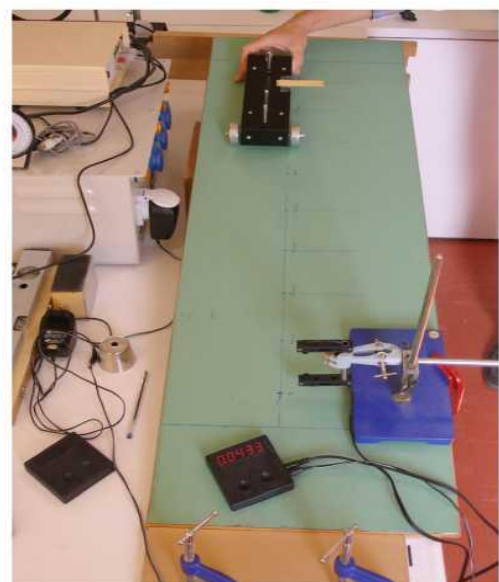
από τις οποίες προκύπτει ότι :

$$\boxed{v^2 = 2a \cdot x} \tag{3}$$

Από την εξίσωση 3 παρατηρούμε ότι το τετράγωνο της ταχύτητας (v^2) του κινούμενου σώματος είναι ανάλογο της αντίστοιχης θέσης του (x).
Επομένως το γράφημα v^2 -x είναι μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων (σημείο (0,0)).

Η κλίση της ευθείας αυτής είναι ίση με το διπλάσιο της επιτάχυνσης (α) της κίνησης.

Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, μπορούμε:
 i) να εξετάσουμε πειραματικά αν η κίνηση



Εικόνα 1

ενός αμαξιδίου κατά μήκος πλάγιας σανίδας, που ξεκινά από την ηρεμία, είναι ομαλά μεταβαλλόμενη και

ii) να υπολογίσουμε την επιτάχυνσή της από το αντίστοιχο **πειραματικό γράφημα v^2-x** .

Για να σχεδιάσουμε το πειραματικό γράφημα v^2-x , πρέπει να μπορούμε να **μετράμε την ταχύτητα** του αμαξιδίου σε **διάφορες θέσεις**, που διέρχεται κατά την κίνησή του, κατά μήκος της πλάγιας σανίδας. Η μέτρηση αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια **συστήματος φωτοπύλης - ηλεκτρονικού χρονομέτρου**, που διαθέτει το σχολικό εργαστήριο.

Πειραματική διαδικασία

Συνθέτουμε την πειραματική διάταξη που φαίνεται στ εικόνα 1. Η πλάγια σανίδα σχηματίζει γωνία περίπου 10 μοιρών με την οριζόντια.

Η φωτοπύλη διατηρείται σε σταθερή θέση.

Αφήνουμε το αμαξάκι να κινηθεί κατά μήκος της πλάγιας σανίδας χωρίς αρχική ταχύτητα, τοποθετώντας το σε διάφορες αρχικές θέσεις, που απέχουν 0,1 - 0,2 - ... 0,8 μέτρα από τη φωτοπύλη (πίνακας μετρήσεων Α).

- Στο αμαξάκι έχουμε κολλήσει ένα χαρτονάκι πλάτους $\Delta x = 0.02\text{m}$, κάθετο στη διεύθυνση της κίνησής του και κατάλληλου μήκους, ώστε διερχόμενο από τη φωτοπύλη, να διακόπτει τη φωτεινή της δέσμη.
- Στο ηλεκτρονικό χρονόμετρο διαλέγουμε τη **λειτουργία F1**. Μετράμε το **χρόνο διέλευσης** του χαρτονιού από τη **φωτοπύλη (Δt)** και καταγράφουμε την τιμή του.
- Επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση τρεις φορές (τοποθετώντας το αμαξάκι στην ίδια αρχική θέση) και βρίσκουμε τη **μέση τιμή του χρόνου διέλευσης**, την οποία καταγράφουμε στον πίνακα μετρήσεων Α.
- Υπολογίζουμε τη **στιγμιαία ταχύτητα (v) του αμαξιδίου**, τη στιγμή που το μέσον του χαρτονιού διέρχεται από τη φωτοπύλη, από τη σχέση:

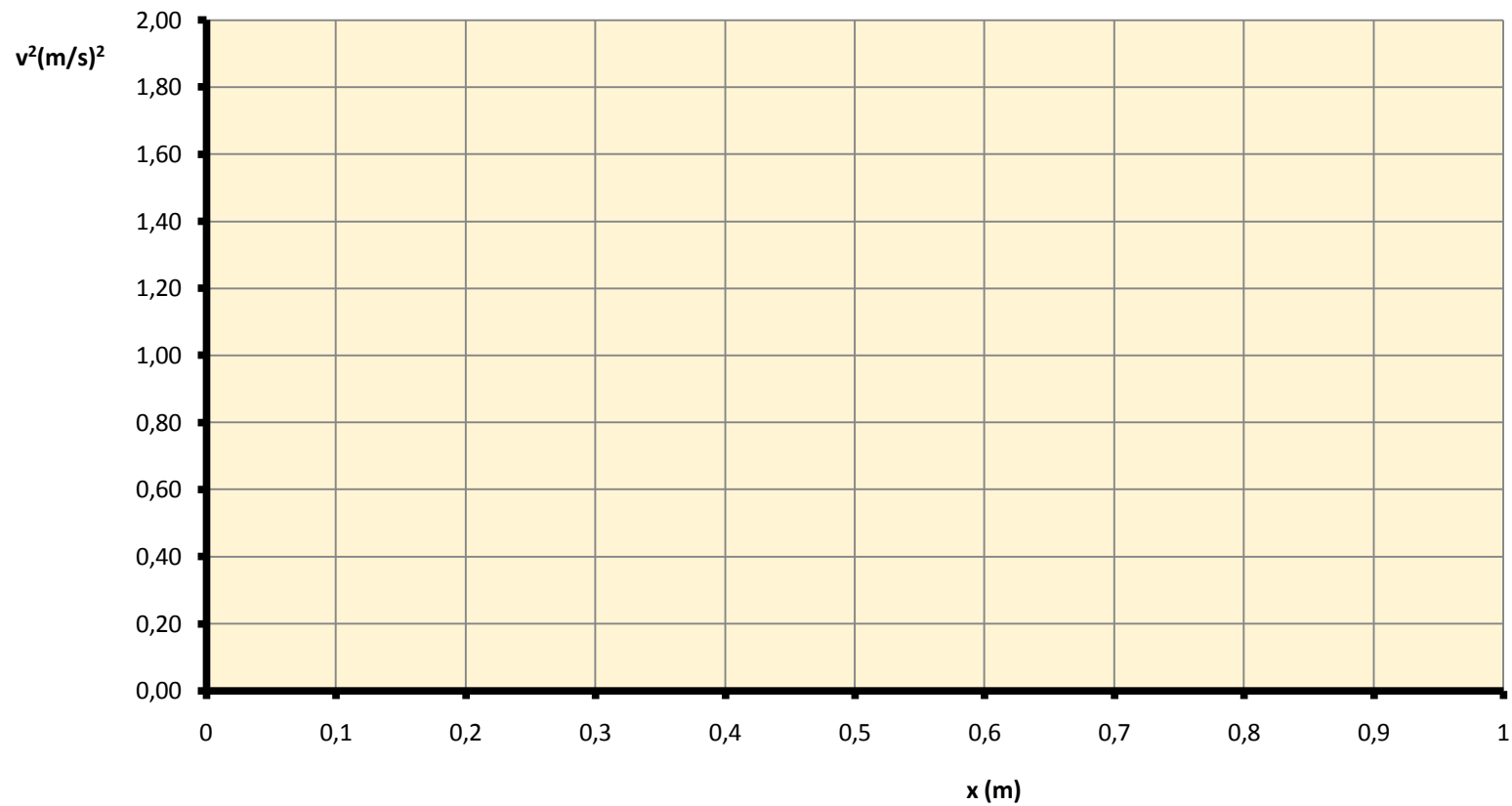
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

- Συμπληρώνουμε τη **στήλη με τις τιμές της ταχύτητας v του πίνακα Α**. Υπολογίζουμε τα τετράγωνα των ταχυτήτων και συμπληρώνουμε την αντίστοιχη στήλη του πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ Α				
x (m)	Μέση τιμή του χρόνου διέλευσης: Δt (s)	Πλάτος χαρτονιού Δx (m)	$v = \Delta x / \Delta t$ (m/s)	v^2 (m/s) ²
0	0	0,02	0	0
0,1				
0,2				
0,3				
0,4				
0,5				
0,6				
0,7				
0,8				

Στο ορθογώνιο σύστημα αξόνων της εικόνας που ακολουθεί, **τοποθετήστε τα πειραματικά σημεία**. Σχεδιάστε την ευθεία που διέρχεται πλησιέστερα από το σύνολο των σημείων και περνάει από την αρχή των αξόνων.

$$v^2=f(x)$$



ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τάξη και τμήμα:

Ημερομηνία: _____

Όνομα μαθητή:

Πειραματική δραστηριότητα Α

- 1) Καταγράψτε 3 τιμές της **ελάχιστης γωνίας** (θ_{\min}), για την οποία το σώμα κινείται ευθύγραμμα και ομαλά πάνω στην πλάγια σανίδα και υπολογίστε τη **μέση τιμή της**.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $\theta_{\min} = \dots\dots\dots$

- 2) Πώς σχετίζεται η τιμή της θ_{\min} με το συντελεστή τριβής ολίσθησης (βλέπε θεωρητικές επισήμανσεις); Από τη σχέση αυτή υπολογίστε την τιμή του **συντελεστή τριβής ολίσθησης μ** (με προσέγγιση μέχρι δύο δεκαδικά ψηφία).

$\mu = \dots\dots\dots$

Πειραματική δραστηριότητα Β

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Ποια είναι η τιμή της **γωνίας κλίσης θ** , του πλάγιου επιπέδου;

$\eta\mu\theta = \dots\dots\dots$ μοίρες

$\theta = \eta\mu^{-1}\theta = \dots\dots\dots$ μοίρες

Με βάση τη σχέση αυτή και τις πειραματικές τιμές της γωνίας κλίσης της σανίδας και της επιτάχυνσης του σώματος, **υπολογίστε το συντελεστή τριβής ολίσθησης μ** (με προσέγγιση μέχρι δύο δεκαδικά ψηφία).

Κλίση (k) ευθείας $v^2=f(x)$:(m/s)²

Επιτάχυνση αμαξιδίου a :(m/s)²

$$\mu' = \varepsilon\phi\theta - \frac{a}{g \cdot \sigma\upsilon\nu\theta} := \dots\dots\dots$$

.....

Ποια είναι η **εξίσωση της κίνησης του σώματος**, που μελετήσαμε πειραματικά:

$x = \dots\dots\dots$

Συγκρίνατε τις **τιμές του μ** , που βρήκατε στις δύο πειραματικές δραστηριότητες. Υπολογίστε την επί τοις εκατό σχετική απόκλιση των δυο πειραματικών τιμών :

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

όπου $\bar{\mu} = \frac{\mu + \mu'}{2}$ η μέση τιμή των δυο πειραματικών μετρήσεων.

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

A) Μέσω της μέτρησης της **ελάχιστης γωνίας θ_{\min}** .

B) Μέσω της μέτρησης της **επιτάχυνσης του αμαξιδίου a** , 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).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

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)

ΠΗΓΕΣ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΣΛΑ : Παπαμιχάλης Κ. – Παληός Κ.-Τουντουλίδης Γ. – Μουρούζης Π. – Τσιτοπούλου Τζ.-Χριστακόπουλος Ι.

ΜΕΛΕΤΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΜΑΞΙΔΙΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ : ΕΚΦΕ ΠΑΛΗΝΗΣ : Υπ. Παπαμιχάλης Κ. Δρ Φυσικής