ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΣΧΕΣΗ F=f(a) ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΜΕΤΡΗΤΗ, (για τη μελέτη των γραφικών παραστάσεων χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό LoggerProGr).

ΣΤΟΧΟΙ

Στόχοι αυτής της εργαστηριακής άσκησης είναι:
- Να κατασκευάσετε το διάγραμμα της δύναμης που ασκείται σε σώμα σε συνάρτηση με την επιτάχυνση που αυτό αποκτά.
- Να υπολογίσετε το συντελεστή αναλογίας, από το διάγραμμα, μεταξύ δύναμης και επιτάχυνσης.
- Να μετρήσετε τη βαρυτική μάζα του σώματος.
- Να συγκρίνετε το συντελεστή με τη βαρυτική μάζα του σώματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Σύμφωνα με το 2^{ο} της κίνησης νόμο του Νεύτωνα, η επιτάχυνση α που παράγεται από συγκεκριμένη δύναμη F εξαρτάται από το αντικείμενο πάνω στο οποίο δρα η δύναμη. Έτσι μεγαλύτερα αντικείμενα απαιτούν εξ' ίσου μεγαλύτερες δυνάμεις για να αποκτήσουν ίδια επιτάχυνση. Αυτή η αναλογία εκφράζεται με τον τύπο:

$$F = m \cdot \alpha$$

Η σταθερά αναλογίας ονομάζεται **μάζα αδράνειας** του σώματος, συμβολίζεται με m, εξαρτάται από το αντικείμενο και εκφράζει τη δυσκολία επιτάχυνσης του. Η μάζα αδράνειας υπολογίζεται από το πηλίκο της δύναμης (θεωρούμενης σταθερής) προς την αντίστοιχη επιτάχυνση που έδωσε στο σώμα: $m = \frac{F}{\alpha}$

Όσο μεγαλύτερη δύναμη χρειάζεται για να παραχθεί μια δεδομένη επιτάχυνση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μάζα αδράνειας του σώματος.

Τη μάζα του σώματος μπορούμε να την μετρήσουμε και με ισοσκελή ζυγό. Η μάζα προκύπτει από τις συγκρίσεις δύο έλξεων βαρύτητας: του αντικειμένου που έχει ορισμένη μάζα και ενός συνόλου από πρότυπες μάζες. Για το λόγο αυτό, η μάζα που μετράται με τον τρόπο αυτό λέγεται **μάζα βαρύτητας** ή **βαρυτική μάζα.**

Παρατήρηση: Για να μετρήσουμε τη μάζα αδράνειας ενός σώματος, ασκούμε σ' αυτό δύναμη και μετράμε την επιτάχυνση χωρίς καμιά αναφορά στη βαρύτητα. Για να μετρήσουμε τη μάζα βαρύτητας χρησιμοποιούμε ισοσκελή ζυγό, εκμεταλλευόμαστε τις δυνάμεις βαρύτητας, αλλά δε χρειάζεται να έχουμε επιτάχυνση.

Έχει αποδειχθεί με πολλά πειράματα ότι ο λόγος της αδρανειακής προς τη βαρυτική μάζα είναι σταθερός και δεν εξαρτάται από το είδος ή το υλικό του αντικειμένου. Γι΄ αυτό θεωρούμε ότι η αδρανειακή και η βαρυτική μάζα οποιουδήποτε σώματος είναι ισοδύναμες. Λέγοντας μάζα εννοούμε είτε την αδρανειακή είτε τη βαρυτική, χωρίς διάκριση. Σαν μονάδα μέτρησης και για τις δύο χρησιμοποιούμε το πρότυπο χιλιόγραμμο.

Σχήμα 1

Στη διάταξη του σχήματος 1, το αμαξάκι και το σώμα (βαράκι) που κρέμεται από το νήμα αποτελούν ένα σύστημα σωμάτων. Επειδή το νήμα, καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης παραμένει τεντωμένο, τα δύο σώματα αποκτούν την ίδια επιτάχυνση. Το ¨αντικείμενο¨ που επιταχύνεται από τη δύναμη (βάρος) του σώματος που κάθε φορά κρέμεται από το νήμα είναι το αμαξάκι με τους δακτυλίους που βρίσκονται πάνω του, το νήμα και το σώμα που κρέμεται.

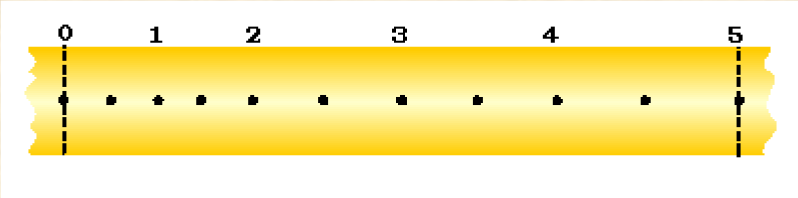
ΟΡΓΑΝΑ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

- Ηλεκτρικός χρονομετρητής περιόδου 0,1 s.
- Δίσκος καρμπόν (διαμέτρου 5cm.).
- Μία μπαταρία των 1,5V.
- Χαρτοταινία .
- Εργαστηριακό αμαξάκι.
- Τροχαλία σε πλαίσιο .
- Δύο σφιγκτήρες (τύπου G).
- Σώμα με μάζα 50g, και τρεις δακτύλιοι με άγκιστρο.
- Νήμα (μήκους 1m. έως 1,2m.).
- Κολλητική ταινία (σελοτέηπ).
- Βαθμολογημένος κανόνας (χάρακας).
- Ζυγός τριπλής φάλαγγας .
- Λογισμικό LoggerProGr.

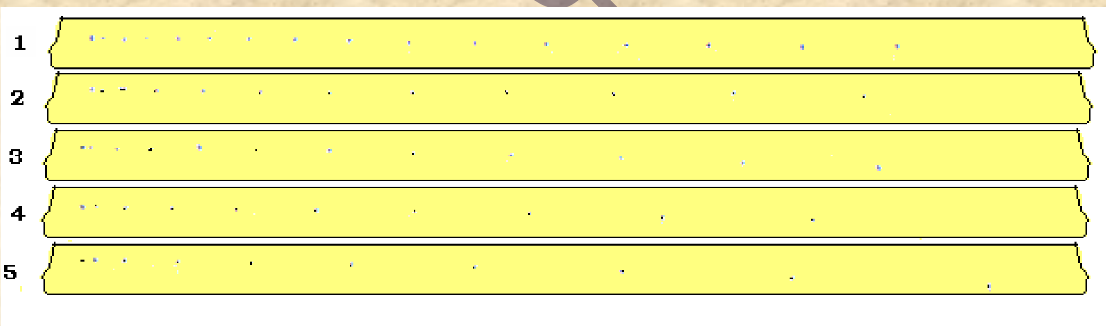
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Μετρήσαμε με τη βοήθεια του ζυγού τη (βαρυτική) μάζα του αμαξιού.
2. Πραγματοποιήσαμε την πειραματική διάταξη του παραπάνω σχήματος
α. Δηλαδή, στερεώσαμε στη μία άκρη του τραπεζιού πειραμάτων, με τη βοήθεια σφιγκτήρα, τον ηλεκτρικό χρονομετρητή. Στην άλλη άκρη του τραπεζιού, στερεώσαμε με το δεύτερο σφιγκτήρα την τροχαλία με το πλαίσιο.
β. Δέσαμε τη μία άκρη του νήματος στο αμαξάκι. Περάσαμε το νήμα μέσα από την τροχαλία. Στην άλλη άκρη κάναμε μία θηλιά για να κρεμάμε τα σώματα που θα ασκούν τη κινούσα δύναμη.
3. Κόψαμε ένα μέτρο περίπου χαρτοταινίας και την περάσαμε μέσα από τους δύο οδηγούς κατά μήκος του ελάσματος και κάτω από τη μελανωμένη όψη του δίσκου καρμπόν. Κολλήσαμε με σελοτέηπ τη μία άκρη της χαρτοταινίας στην κάτω άκρη του μικρού αμαξιού.

4. Στερεώσαμε επάνω στο αμαξάκι με σελοτέηπ τον ένα δακτύλιο και το σώμα μάζας 50g. Κρατώντας το αμαξάκι, κρεμάσαμε από τη θηλιά στην άκρη του νήματος τους άλλους δύο δακτυλίους. Στρέψαμε τον διακόπτη του χρονομετρητή ώστε να τεθεί σε λειτουργία και ταυτόχρονα αφήσαμε το αμαξάκι να κινηθεί. Πάνω στην ταινία αποτυπώνεται η κίνηση του αμαξιού.



5. Αφού αφαιρέσαμε την ταινία, την απλώσαμε πάνω στον εργαστηριακό πάγκο και σημειώσαμε πάνω της την πρώτη κουκίδα που διακρίνετε καθαρά. Αυτή η κουκίδα αποτελεί την αρχή των μετατοπίσεων (θέσεων) και την ονομάσαμε κουκίδα μηδέν. Την τρίτη κατά σειρά κουκίδα, κουκίδα 1. Την πέμπτη σαν κουκίδα 2 κ.ο.κ μέχρι το 8 ή 9 και συμπληρώσαμε τη στήλη 1 του ΠΙΝΑΚΑ 1. Με δεδομένο ότι η περίοδος του χρονομετρητή μας είναι 0,1 s, το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κουκίδες είναι 0,2 s. Αυτό μας βοήθησε να συμπληρώσουμε τη στήλη 2 του ΠΙΝΑΚΑ 1.
6. Τοποθετήσαμε τον βαθμολογημένο κανόνα παράλληλα στην ταινία, ώστε το μηδέν του να συμπέσει με την κουκίδα μηδέν και προσδιορίσαμε τη θέση των επόμενων κουκίδων 1 – 8 και συμπληρώσαμε τη στήλη 3 του ΠΙΝΑΚΑ 1.
7. Επαναλάβαμε τη διαδικασία 3 έως 6 άλλες τέσσερις φορές κρεμώντας στο νήμα με τη σειρά : 3 δακτυλίους, το σώμα των 50 g, το σώμα των 50 g και 1 δακτύλιο, το σώμα των 50 g και 2 δακτυλίους, φροντίζοντας ώστε η μάζα που επιταχύνεται να είναι η ίδια σε όλες τις περιπτώσεις. Π.χ όταν στο νήμα κρέμονται οι 3 δακτύλιοι, πάνω στο αμαξάκι, στερεώσαμε με σελοτέηπ, το σώμα των 50 g.



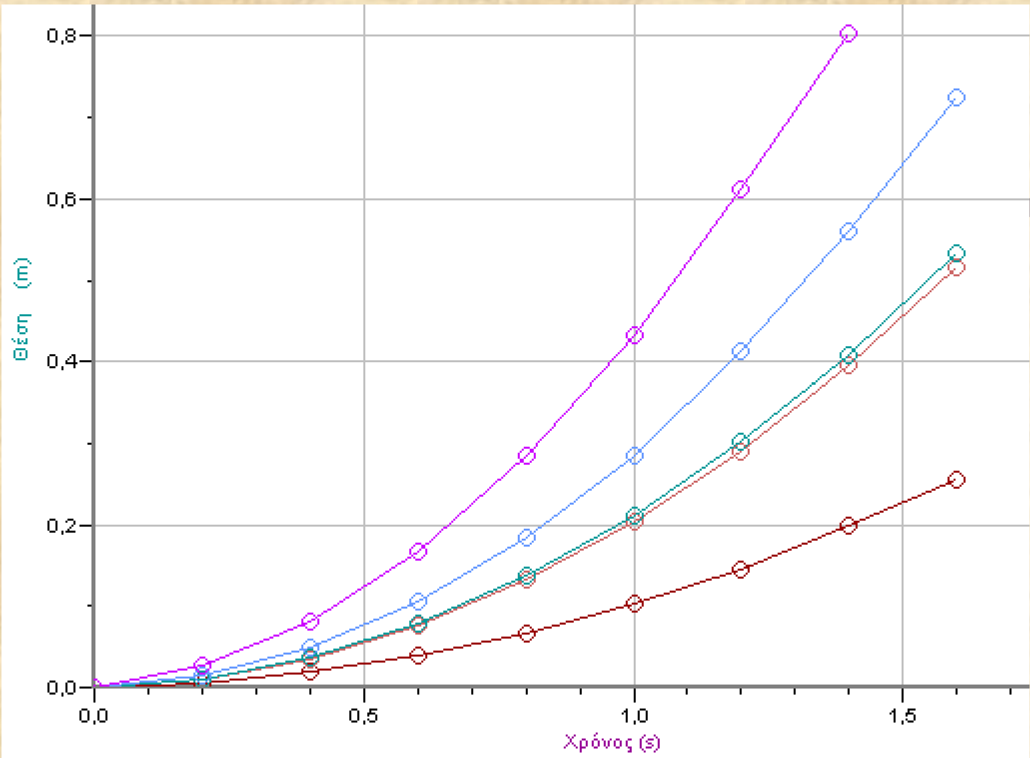
Σε κάθε περίπτωση συμπληρώναμε και την αντίστοιχη από τις υπόλοιπες στήλες του ΠΙΝΑΚΑ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

κουκιδες	**Χρόνος σε (s)**	**Θέση σε (m) (2 δακτ.)**	**Θέση σε (m) (3 δακτ.)**	**Θέση σε (m) (50 g)**	**Θέση σε (m) (50 g + 1 δακτ)**	**Θέση σε(m) (50 g + 2 δακτ)**
0	0	0	0	0	0	0
1	0,2	0,005	0,011	0,011	0,014	0,026
2	0,4	0,019	0,035	0,037	0,049	0,081
3	0,6	0,039	0,076	0,079	0,106	0,167
4	0,8	0,066	0,132	0,137	0,185	0,284
5	1,0	0,102	0,204	0,211	0,286	0,433
6	1,2	0,146	0,291	0,301	0,412	0,613
7	1,4	0,198	0,396	0,408	0,561	0,803

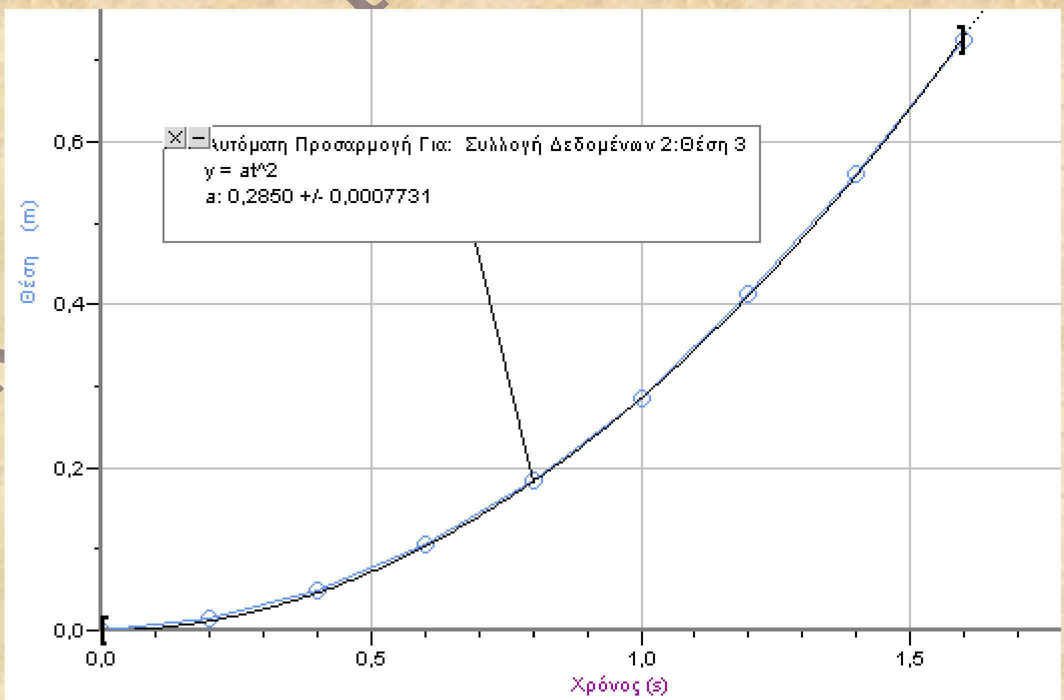
8	1,6	0,256	0,515	0,533	0,725	

8. Σ' αυτή τη φάση χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό LoggerProGr της Vernier, για να σχεδιάσουμε τα διαγράμματα x= f (t)από τα οποία εύκολα βρήκαμε τις τιμές για την επιτάχυνση σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 2

Στο σχήμα 2 φαίνονται τα διαγράμματα x= f (t) για κάθε περίπτωση. Στη συνέχεια με προσαρμογή καμπύλης για κάθε διάγραμμα (βλέπε σχήμα 3 για μια περίπτωση) υπολογίσαμε την επιτάχυνση και συμπληρώσαμε τη στήλη 4 του ΠΙΝΑΚΑ 2.



Σχήμα 3

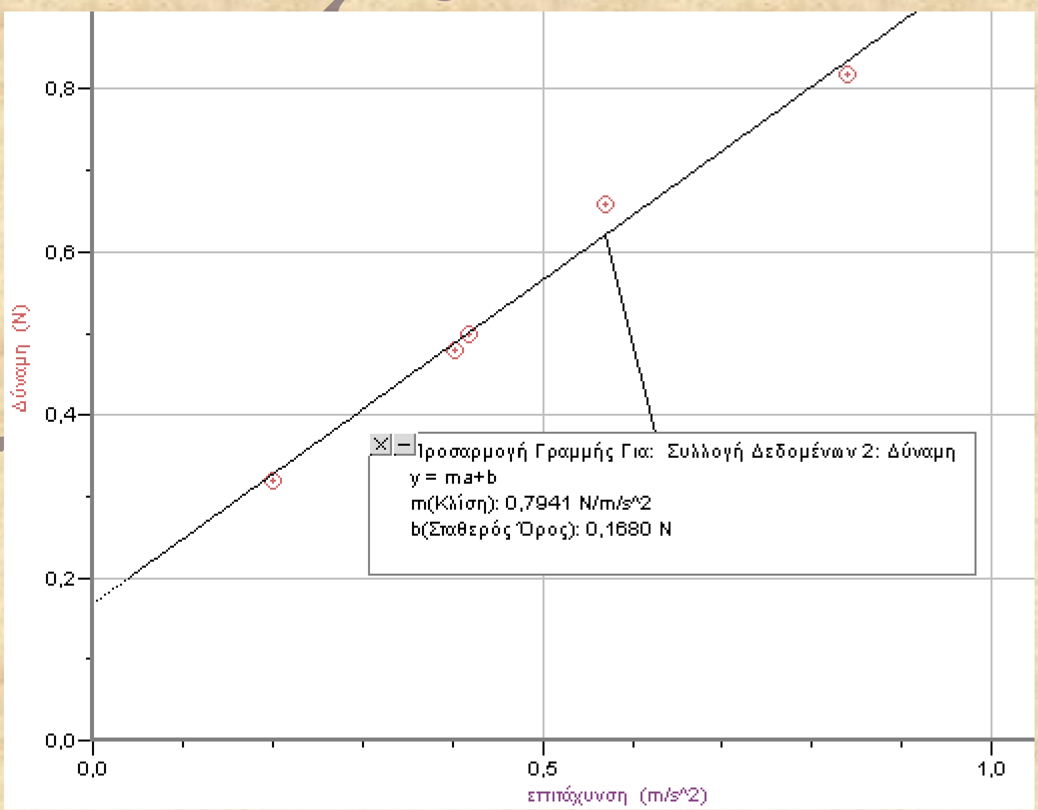
Στο διάγραμμα του σχήματος 3 ο συντελεστής a της συνάρτησης $y=at^2$ αντιστοιχεί στο μισό της επιτάχυνσης. Στην προκειμένη περίπτωση η επιτάχυνση είναι $2 \cdot 0,285=0,57 m/s^2$.

9. Ζυγίζουμε τις μάζες του δακτυλίου και του σώματος των 50 με ηλεκτρονικό ζυγό και του αμαξιδίου με το ζυγό τριπλής φάλαγγας και βρίσκουμε, 16,25 g – 50,92 g και 697,5 g αντίστοιχα. Έτσι συμπληρώνουμε και τις στήλες 2 και 3 του ΠΙΝΑΚΑ 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Κινούσα δύναμη	**Μάζα (Kg)**	**Κινούσα δύναμη $m \cdot g^*$ (N)**	**Επιτάχυνση(α) (m/s^2)**
-	0	0,000	0,000
2 δακτύλιοι	0,0325	0,319	0,200
3 δακτύλιοι	0,0488	0,478	0,404
Σώμα μάζας 50 g	0,0509	0,499	0,418
Σώμα μάζας 50 g + 1 δακτ.	0,0672	0,659	0,571
Σώμα μάζας 50 g + 2 δακτ.	0,0834	0,817	0,840
$^*g = 9.8 m/s^2$			

10. Καταφεύγουμε πάλι στο λογισμικό LoggerProGr της Vernier, για να σχεδιάσουμε το διάγραμμα F= f (α) με τη βοήθεια του ΠΙΝΑΚΑ 2 (στήλες 3 και 4, βλέπε σχήμα 4).



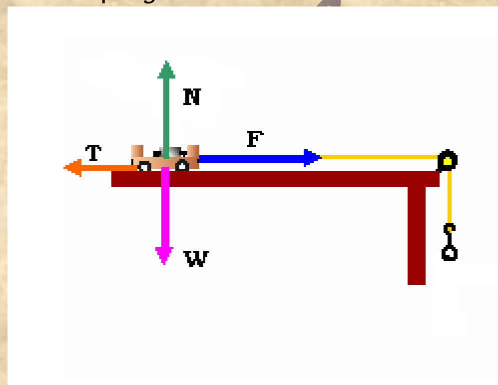
Σχήμα 4

Από τη μελέτη του παραπάνω διαγράμματος, στο οποίο έχει γίνει και η προσαρμογή καμπύλης, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν η επιτάχυνση είναι μηδέν, η δύναμη έχει τιμή 0,168 N, αυτό δικαιολογεί την ύπαρξη στατικής τριβής με μέση τιμή 0,168N.
- Η κλίση της γραμμής που είναι και η σταθερά αναλογίας ανάμεσα στα μεγέθη δύναμη και επιτάχυνση έχει τιμή 0,794. Η μάζα αδράνειας του σώματος είναι ίση με 0.794 $N/m/s^2$ ή 0,794 Kg.

- Πόση είναι η συνολική μάζα (βαρυτική) που επιταχύνεται;
Συνολική μάζα που επιταχύνεται κάθε φορά είναι 797.15 g

11. Β. Μπορούμε ακόμη να υπολογίσουμε και το συντελεστή τριβής (μ). Οι δυνάμεις που ασκούνται στο κινούμενο αμαξάκι σημειώνονται στο σχήμα 5



Σχήμα 5

Με εφαρμογή του 2ου Νόμου του Νεύτωνα έχουμε F-T= m·α, (1)
όπου F η κινούσα δύναμη (= $m_1 \cdot g$ με m_1 τη μάζα του σώματος που κρέμεται κάθε φορά), m η συνολική μάζα των σωμάτων που κινούνται, T η τριβή ολίσθησης (= μ·N ή μ·W=μ· $m_2 \cdot g$, όπου m_2 είναι κάθε φορά η διαφορά των μαζών m των σωμάτων που κινούνται και αυτού που κρέμεται) και α η μετρούμενη κάθε φορά επιτάχυνση. Δηλαδή

η (1) γίνεται $m_1 \cdot g - \mu \cdot m_2 \cdot g = m \cdot \alpha$ ή $\mu \cdot m_2 \cdot g = m_1 \cdot g - m \cdot \alpha$
τελικά $\mu = m_1 \cdot g - m \cdot \alpha \;/\; m_2 \cdot g.$ (2)

Η τιμή του συντελεστή πρέπει για όλες τις περιπτώσεις να είναι ίδια ή περίπου ίδια

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

κινούσα δύναμη	κινούσα δύναμη ($F = m_1 \cdot g$) σε (N)	κάθετη δύναμη ($F_k = m_2 \cdot g$) σε (N)	κινούμενη μάζα m (Kg)	επιτάχυνση α σε m/s^2	m·α σε (N)	συντελεστής τριβής (μ)
(2 δακτ.)	0,319	7,5	0,797	0,200	0,159	0,021
(3 δακτ.)	0,478	7,34	0,797	0,404	0,322	0,021
50g	0,499	7,32	0,797	0,418	0,333	0,023
50g + 1δακτ.	0,660	7,16	0,797	0,571	0,455	0,028
50g + 2δακτ.	0,818	7,00	0,797	0,840	0,670	0,021
Μέση τιμή συντελεστή $\bar{\mu}$						0,023

Με αντικατάσταση των τιμών των μεγεθών στη σχέση (2), συμπληρώσαμε τον πίνακα 3 από τον οποίο φαίνεται, πράγματι ότι ο συντελεστής μ έχει περίπου σταθερή τιμή για όλες τις περιπτώσεις.

Την εργαστηριακή άσκηση επιμελήθηκε ο γ. Κουρούκλης