ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 1 (2020)

Οι συντελεστές στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης – Πειραματικός προσδιορισμός τους

Αναστασία Λιαδή, Μαρία Θηρεσία Καραμαΐλή, Ευαγγελία Κορατζίνου, Βασίλης Δημόπουλος

doi: 10.12681/osj.22322

Copyright © 2020, Αναστασία Λιαδή, Μαρία Θηρεσία Καραμαΐλή, Ευαγγελία Κορατζίνου, Βασίλης Δημόπουλος

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Λιαδή Α., Καραμαΐλή Μ. Θ., Κορατζίνου Ε., & Δημόπουλος Β. (2020). Οι συντελεστές στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης – Πειραματικός προσδιορισμός τους. *Open Schools Journal for Open Science*, *3*(1). https://doi.org/10.12681/osj.22322

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 23/01/2026 23:19:10

Open Schools Journal for Open Science

Volume 4

Οι συντελεστές στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης – Πειραματικός προσδιορισμός τους

Αναστασία Λιαδή[1], Μαρία Θηρεσία Καραμαΐλή[1], Ευαγγελία Κορατζίνου[1], Βασίλης Δημόπουλος[2]

[1] Γενικό Λύκειο Κολλεγίου Ψυχικού, Αθήνα, Ελλάδα
[2] Φυσικός, Γενικό Λύκειο Κολλεγίου Ψυχικού, Αθήνα, Ελλάδα

Περίληψη

Το προς μελέτη θέμα της εργασίας είναι ο προσδιορισμός συντελεστών στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης ενός ξύλινου αντικειμένου που έρχεται σε επαφή με διαφορετικά υλικά, καθώς και ο έλεγχος της εξάρτησης του συντελεστή τριβής ολίσθησης από διάφορους παράγοντες.

Για τον προσδιορισμό των συντελεστών τριβής χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας δύναμης, που συνδέθηκε με το σώμα. Με κατάλληλο λογισμικό απεικονίστηκε η γραφική παράσταση της τριβής συναρτήσει της δύναμης που ασκήθηκε μέσω του αισθητήρα και υπολογίστηκαν οι συντελεστές τριβής. Για τη μελέτη της εξάρτησης της τριβής ολίσθησης από διάφορους παράγοντες, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα σωμάτων, που συνδέθηκε μεταξύ τους μέσω νήματος και τροχαλίας καθώς και ένα σύστημα φωτοπυλών. Η εξίσωση θέσης-χρόνου και η εφαρμογή των νόμων του Νεύτωνα οδήγησε στα συμπεράσματα ότι ο συντελεστής τριβής ολίσθησης δεν εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής αλλά έχει μικρή εξάρτηση από την ταχύτητα για μεγάλες μεταβολές της.

Λέξεις κλειδιά

συντελεστής στατικής τριβής, συντελεστής τριβής ολίσθησης, αισθητήρας δύναμης, παράγοντες εξάρτησης

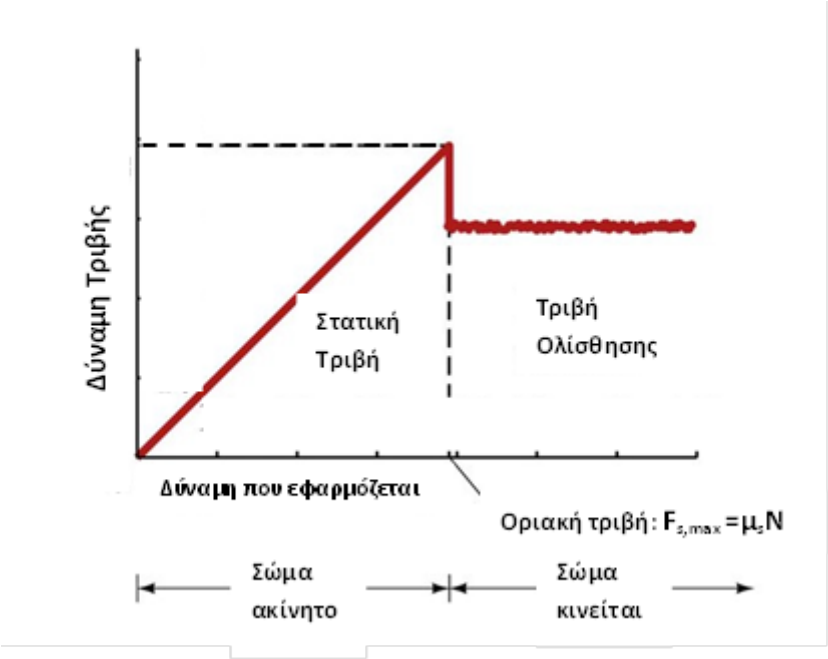
Η δύναμη της τριβής

Η τριβή αποτελεί μια από τις δυνάμεις που είναι παρούσα σε κάθε κίνηση, έχοντας διπλό ρόλο. Από τη μια αντιστέκεται στην κίνηση των σωμάτων ενώ από την άλλη βοηθά τον άνθρωπο να κινείται (Αντωνίου κ.α., 2016).

Η δύναμη της τριβής αντιπροσωπεύει το άθροισμα ενός πάρα πολύ μεγάλου αριθμού ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων μεταξύ των μορίων των δύο σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή. Αφού είναι αδύνατο να ληφθεί υπόψη η κάθε μία μοριακή αλληλεπίδραση, υπολογίζονται συνολικά και αντιπροσωπεύονται προσεγγιστικά με ένα συντελεστή, το συντελεστή τριβής. Συνεπώς, η αλλαγή της επιφάνειας με την οποία έρχεται σε επαφή ένα σώμα μεταβάλλει την τιμή του συντελεστή τριβής (Alonso & Finn, 1980).

Ουσιαστικά, τριβή ονομάζεται εκείνη η δύναμη που ασκείται από ένα σώμα σε ένα άλλο όταν βρίσκονται σε επαφή και το ένα κινείται ή τείνει να κινηθεί σε σχέση με το άλλο (Αντωνίου κ.α., 2016). Για να μην εμφανιστεί η τριβή θα πρέπει οι επιφάνειες των σωμάτων που είναι σε επαφή να είναι λείες. Στην πραγματικότητα, όμως, ακόμα και οι επιφάνειες που φαίνονται απόλυτα λείες, παρουσιάζουν ανωμαλίες, είναι δηλαδή τραχιές (Κόκκοτας κ.α. , 2016).

Η δύναμη της τριβής διακρίνεται σε στατική, και κινητική ή τριβή ολίσθησης. Αρχικά, αν ασκηθεί μια οριζόντια δύναμη F σε ένα σώμα που βρίσκεται σε τραχιά επιφάνεια, αυτό είναι δυνατό να παραμένει ακίνητο (Giancoli, 2000). Αφού το σώμα δεν κινείται καθώς ασκείται η οριζόντια δύναμη, ισχύει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα, σύμφωνα με τον οποίο η συνισταμένη των δυνάμεων είναι ίση με μηδέν. Συνεπώς ασκείται και μια άλλη δύναμη στο σώμα ίδιου μέτρου και αντίθετης κατεύθυνσης με την F που ονομάζεται **στατική τριβή** και θα συμβολίζεται με F_s. Συνεχίζοντας, αν αυξηθεί περισσότερο το μέτρο της δύναμης F τότε το σώμα αρχίζει να ολισθαίνει, να κινείται, αφού η στατική τριβή έχει φτάσει στην μέγιστη τιμή της (**οριακή τριβή,** $F_{s,max}$**)**. Καθώς το σώμα κινείται, η δύναμη της τριβής που εξακολουθεί να εναντιώνεται στην κίνηση έχει μικρότερο μέτρο από αυτό της οριακής τριβής και ορίζεται ως **κινητική ή τριβή ολίσθησης** και συμβολίζεται με F_k (Serway, 1990). Στο σχήμα 1 περιγράφεται το μέτρο της δύναμης τριβής συναρτήσει της δύναμης που εφαρμόζεται στο σώμα για να το κινήσει.



Σχήμα 1: Γραφική παράσταση του μέτρου της δύναμης τριβής που αντιστοιχεί στη δύναμη που εφαρμόζεται για να κινήσει το σώμα (Serway, 1990).

Στην περίπτωση της στατικής τριβής ισχύει πως $F_s \leq \mu_s N$, όπου μ_s ο συντελεστής στατικής τριβής και N η κάθετη δύναμη. Η σχέση $F_{S.max} = \mu_S N$, προσδιορίζει το μέτρο της μέγιστης στατικής τριβής, ή διαφορετικά της οριακής τριβής. Το μέτρο της τριβής ολίσθησης, προκύπτει από το νόμο της τριβής ολίσθησης, που ορίζεται ως $F_k = \mu_k N$ όπου $\mu_k < \mu_s$ και ονομάζεται συντελεστής τριβής ολίσθησης και N η κάθετη δύναμη επαφής. Τόσο ο συντελεστής στατικής τριβής όσο και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης είναι καθαροί αριθμοί.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο συντελεστής τριβής ολίσθησης έχει μικρότερη τιμή από το συντελεστή στατικής τριβής, όμως και οι δύο εξαρτώνται από τη φύση των δύο επιφανειών που έρχονται σε επαφή (Κόκκοτας κ.α., 2016). Τυπικές τιμές των συντελεστών αρχίζουν από 0,05 περίπου για λείες επιφάνειες και φτάνουν μέχρι το 1,5 για τραχιές επιφάνειες (Serway, 1990). Οι τιμές για τους συντελεστές τριβής, που εμφανίζονται σε πίνακες είναι μόνο μέσοι όροι, μιας και οι συντελεστές τριβής είναι μακροσκοπικές ποσότητες που εξαρτώνται από τις μικροσκοπικές ιδιότητες των δύο υλικών και κυμαίνονται πολύ εξαιτίας των καταστάσεων των επιφανειών (Alonso & Finn, 1980).

Ας σημειωθεί ότι η τιμή του συντελεστή τριβής ολίσθησης εξαρτάται από την φύση των επιφανειών που εφάπτονται αλλά όχι τόσο από το εμβαδόν και το μέγεθος της επιφάνειας. Ταυτόχρονα, η ταχύτητα αποτελεί έναν από τους παράγοντες που μεταβάλλει την τιμή του συντελεστή μ, όμως οι μεταβολές αυτές, συνήθως, δε λαμβάνονται υπόψη (Serway, 1990).

Πειραματικές διαδικασίες

Προσδιορισμός συντελεστή στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης διαφόρων υλικών που βρίσκονται σε επαφή

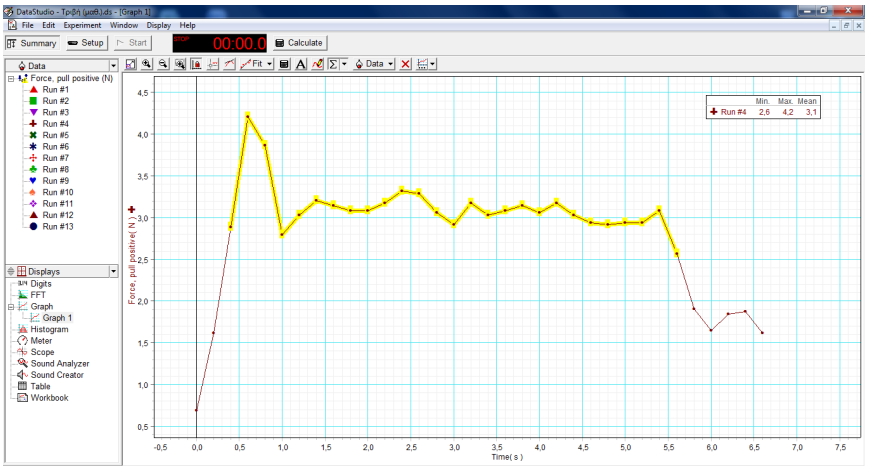
Για τον προσδιορισμό των συντελεστών στατικής τριβής χρησιμοποιήθηκε ένα ξύλινο παραλληλεπίπεδο, το οποίο τοποθετήθηκε διαδοχικά πάνω σε 11 διαφορετικά υλικά. Ο στόχος

ήταν μέσω του αισθητήρα να ασκηθεί δύναμη στο ξύλινο σώμα και αυτό να κινηθεί πάνω σε ένα από τα επιλεγμένα υλικά. Η καταγραφή των δεδομένων και η απεικόνιση της γραφικής παράστασης, τριβή συναρτήσει της δύναμης που εφαρμόζεται, έδωσε τη δυνατότητα προσδιορισμού, αρχικά της οριακής τριβής και στη συνέχεια του συντελεστή στατικής τριβής σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, μέσω του διαγράμματος προσδιορίστηκε και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης για κάθε περίπτωση.

Πιο συγκεκριμένα, αφού μετρήθηκε η μάζα του παραλληλεπιπέδου ίση με m=1,438Kg, τοποθετήθηκε ο αισθητήρας δύναμης (της εταιρίας PASCO) στην οριζόντια θέση και συνδέθηκε με το ξύλινο σώμα. Για την απεικόνιση του μέτρου της δύναμης την κάθε χρονική στιγμή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Data Studio. Ένας μαθητής επέλεξε στην οθόνη του υπολογιστή το κουμπί Start ενώ ένας άλλος μαθητής τράβηξε τον αισθητήρα δύναμης μέχρι που το σώμα άρχισε να κινείται.

Όσο το σώμα δεν κινείται, του ασκούνται, στον οριζόντιο άξονα η δύναμη από τον αισθητήρα F και η στατική τριβή F_S ενώ στον κατακόρυφο άξονα η κάθετη δύναμη N και το βάρος w. Για το ακίνητο σώμα ισχύει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα τόσο στον οριζόντιο όσο και στον κατακόρυφο άξονα, συνεπώς κάθε στιγμή η δύναμη F ισούται με τη στατική τριβή F_S και το βάρος w με την κάθετη δύναμη N. Ο προσδιορισμός του συντελεστή στατικής τριβής γίνεται μέσω της σχέσης, $F_{S.max} = \mu_S N \Leftrightarrow F_{S.max} = \mu_S w \Leftrightarrow \mu_S = \frac{F_{S.max}}{w} \Leftrightarrow \mu_S = \frac{F_{S.max}}{mg}$, όπου η $F_{S,max}$ ισούται με τη μέγιστη τιμή της τριβής του διαγράμματος τριβή συναρτήσει της δύναμης που εφαρμόζεται.

Μόλις το σώμα κινήθηκε, ο μαθητής που ασκούσε τη δύναμη συνέχισε να ασκεί τόση δύναμη σε αυτό, ώστε να κινείται –σχεδόν- με σταθερή ταχύτητα. Από τη στιγμή που κινείται ο κύβος στο σώμα ασκείται η τριβή ολίσθησης F_k, η οποία λόγω του πρώτου νόμου του Νεύτωνα (το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα) ισούται με τη δύναμη F που εφαρμόζεται μέσω του αισθητήρα. Εξαιτίας του Νόμου της τριβής ολίσθησης θα είναι: $F_k = \mu_k N \Leftrightarrow F_k = \mu_k w \Leftrightarrow \mu_k = \frac{F_k}{w} \Leftrightarrow \mu_k = \frac{F_k}{mg}$. Στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή απεικονίστηκε η γραφική παράσταση δύναμης που εφαρμόστηκε συναρτήσει του χρόνου. Στο σχήμα 2, εμφανίζεται η γραφική παράσταση για την περίπτωση εκείνη όπου το ξύλινο σώμα κινήθηκε πάνω σε σχεδόν λεία ξύλινη επιφάνεια. Από αυτή φαίνεται ότι η μέγιστη στατική τριβή ισούται με $F_{S,max}$=4,2N. Το μέτρο της δύναμης του βάρους ισούται με $w = mg$. Για την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας g, αντικαταστάθηκε η τιμή g=9,81m/s^2, που αποτελεί την τιμή μέτρησης που προέκυψε από εργασία μαθητών του Σχολείου που μελέτησαν την ταλάντωση ενός απλού εκκρεμούς. Με αντικατάσταση στη σχέση $\mu_S = \frac{F_{S.max}}{mg}$, προκύπτει $\mu_S = 0,30$.



Σχήμα 2: Γραφική παράσταση του μέτρου της δύναμης τριβής που αντιστοιχεί στη δύναμη που εφαρμόζεται για να κινήσει το σώμα συναρτήσει του χρόνου, στην περίπτωση εκείνη όπου το ξύλινο παραλληλεπίπεδο κινείται πάνω σε σχεδόν λεία ξύλινη επιφάνεια.

Από τη γραφική παράσταση, είναι φανερό ότι για το χρονικό διάστημα 1s έως 5,6s, όπου το σώμα κινείται, η τιμή της δύναμης παραμένει σχεδόν σταθερή έχοντας τιμές που κινούνται από 2,6N έως 3,3N. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της μέσης τιμής των τιμών για το παραπάνω χρονικό διάστημα, που για την περίπτωση που αναλύεται είναι ίση με 3,1N. Αναφέρθηκε και παραπάνω, ότι καθώς το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα η δύναμη που ασκείται μέσω του αισθητήρα ισούται με την τριβή ολίσθησης, συνεπώς το μέτρο της τριβής ολίσθησης είναι ίσο με $F_k = 3{,}1\text{N}$.

Με αντικατάσταση στη σχέση $\mu_k = \frac{F_k}{mg}$, προκύπτει ότι $\mu_k = 0{,}22$.

Με όμοιο τρόπο, προκύπτουν οι τιμές για τους συντελεστές στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης για τη συνεπαφή του ξύλινου παραλληλεπιπέδου με τα υπόλοιπα υλικά. Οι τιμές φαίνονται στον πίνακα 1.

Υλικό κάτω επιφάνειας	**F_{Smax}**	$\mu_S = \frac{F_{S.max}}{mg}$	$\mu_k = \frac{F_k}{mg}$
Ξύλο (νοβοπάν)	3,4	0,24	0,18
Αλουμίνιο	5,1	0,36	0,26
Σχεδόν Λείο Ξύλο	4,2	0,30	0,22
Τραχύ Ξύλο	4	0,28	0,25
Γυαλί	5,7	0,40	0,29
Συνθετικό (mouse pad)	6,3	0,45	0,36
Ξύλο MDF	3,2	0,23	0,15
Μονωτικό υλικό DOW	6,5	0,46	0,39
Χαρτί	5,6	0,40	0,34
Λεπτό Γυαλόχαρτο	10,5	0,74	0,68

Χοντρό Γυαλόχαρτο	10	0,71	0,65

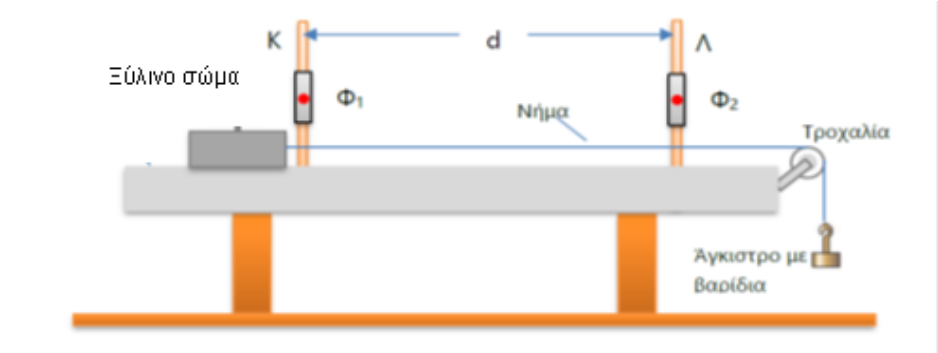
Πίνακας 1: Οι συντελεστές στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης για τις διαφορετικές επιφάνειες συνεπαφής του ξύλινου κύβου με αυτές

Έλεγχος εξάρτησης συντελεστή τριβής ολίσθησης από το εμβαδό συνεπαφής και την ταχύτητα

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τη μελέτη της κίνησης ενός ξύλινου παραλληλεπιπέδου (10,1cm^{x}7,8cm^{x}4,9cm) πάνω σε μία ξύλινη επιφάνεια σε συνδυασμό με δύο φωτοπύλες για την ακριβή μέτρηση του χρόνου. Γνωρίζοντας τη μετατόπιση Δx του ξύλινου κύβου που εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση χωρίς αρχική ταχύτητα και το αντίστοιχο χρονικό διάστημα Δt μέσα στο οποίο συμβαίνει η παραπάνω μετατόπιση, μπορεί να υπολογιστεί η επιτάχυνσή του. Η μετατόπιση προσδιορίζεται από τη σχέση $\Delta x = \frac{1}{2}\alpha\Delta t^2$, συνεπώς η επιτάχυνση ισούται με $\alpha = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$.

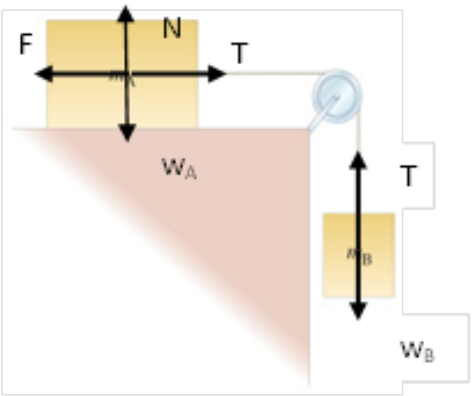
Τοποθετώντας το σώμα πολύ κοντά στην πρώτη φωτοπύλη, μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτό ξεκινά από την ηρεμία, άρα η αρχική του ταχύτητα είναι υ_o= 0m/s και ότι η μετατόπιση ισούται με την απόσταση των δύο φωτοπυλών.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 3. Το ξύλινο παραλληλεπίπεδο συνδέεται μέσω νήματος -που περνάει από τροχαλία- με άγκιστρο με βαρίδια, τα οποία είναι δυνατό να μεταβάλλονται.



Σχήμα 3: Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστωθεί αν υπάρχει εξάρτηση του συντελεστή τριβής ολίσθησης από το εμβαδό συνεπαφής και την ταχύτητα.

Για την εκτέλεση του πειράματος θεωρήθηκε ότι το ξύλινο παραλληλεπίπεδο είναι ένα σώμα μάζας m_A και το άγκιστρο με τα βαρίδια ένα δεύτερο σώμα μάζας m_B. Στο σώμα μάζας m_A, ασκούνται οι δυνάμεις: τάση νήματος (T_v), τριβή ολίσθησης (F_k) στον οριζόντιο άξονα και βάρος (w_A) και (N) στον κατακόρυφο άξονα. Αντίστοιχα στο σώμα μάζας m_B, οι δυνάμεις: τάση νήματος (T_v) και βάρος (w_B). Οι δυνάμεις αυτές φαίνονται και στο σχήμα 4. Οι δύο τάσεις του νήματος είναι ίσες αφού το νήμα θεωρήθηκε αβαρές και μη εκτατό.



Σχήμα 4: Στο σχήμα απεικονίζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στα δύο σώματα

Για κάθε σώμα ξεχωριστά εφαρμόστηκαν οι νόμοι του Νεύτωνα.
Για το σώμα Α είναι:

$$\Sigma\vec{F_x} = m_A\vec{\alpha} \Rightarrow T_\nu - F_k = m_A\alpha \text{ (1).}$$

$$\Sigma\vec{F_y} = 0 \Rightarrow N - w_A = 0 \Rightarrow N = w_A \Rightarrow N = m_A g \text{(2).}$$

Και από το Νόμο της τριβής ολίσθησης: $F_k = \mu_k N \Rightarrow F_k = \mu_k m_A g$(3).

Με αντικατάσταση της (3) στην (1) είναι: $\Sigma\vec{F_x} = m\vec{\alpha} \Rightarrow T_\nu - \mu_k m_A g = m_A\alpha$

Για το σώμα Β είναι:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{\alpha} \Rightarrow w_B - T_\nu = m_B\alpha \Rightarrow m_B g - T_\nu = m_B\alpha \text{(4).}$$

Με πρόσθεση των (1) και (4) προκύπτει: $T_\nu - \mu_k m_A g + m_B g - T_\nu = m_A\alpha + m_B\alpha \Rightarrow$

$$\underline{\underline{-\mu_k m_A g + m_B g = m_A\alpha + m_B\alpha \Rightarrow}}\ \mu_k m_A g = -(m_A + m_B)\alpha + m_B g \Rightarrow$$

$$\mu_k = \frac{m_B g - (m_A + m_B)\alpha}{m_A g} \text{ (5).}$$

Μεταβάλλοντας τα βαρίδια στο άγκιστρο, υπολογίστηκε ο χρόνος που το ξύλινο παραλληλεπίπεδο διένυε σε κάθε περίπτωση την απόσταση d μεταξύ των φωτοπυλών. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε τόσο με τη μεγάλη επιφάνεια του σώματος Α (10,1cm^{x}7,8cm) όσο και με μία μικρότερη (7,8cm^{x}4,9cm). Οι τιμές που ελήφθησαν για τις διαφορετικές μάζες των βαριδίων και του χρόνου για να διανυθεί η απόσταση d φαίνονται στον πίνακα 2. Η απόσταση d ήταν ίση με 0,30m και η μάζα του σώματος Α ίση με m_A=0,240Kg.

Μάζα βαριδίων στο άγκιστρο (m_B)	Μετρήσεις χρόνου για μεγάλη επιφάνεια	Μετρήσεις χρόνου για μικρότερη επιφάνεια
0,090	1,429	1,279
0,120	0,911	0,862
0,150	0,717	0,713
0,180	0,631	0,625
0,210	0,567	0,584
0,240	0,534	0,543
0,270	0,517	0,512

0,300	0,487	0,501

Πίνακας 2: Χρόνοι που απαιτήθηκαν για να διανυθεί η απόσταση d μεταξύ των φωτοπυλών για διαφορετικές μάζες βαριδίων στο άγκιστρο.

Με αντικατάσταση στη σχέση $\alpha = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$, προέκυψαν οι επιταχύνσεις για τους παραπάνω χρόνους με τις οποίες κινούνταν την κάθε φορά το σύστημα των μαζών m_A και m_B. Οι τιμές των επιταχύνσεων εμφανίζονται στον πίνακα 3.

Μάζα βαριδίων στο άγκιστρο (m_B)	Επιταχύνσεις για μεγάλη επιφάνεια	Επιταχύνσεις για μικρότερη επιφάνεια
0,090	0,3	0,4
0,120	0,7	0,8
0,150	1,2	1,2
0,180	1,5	1,5
0,210	1,9	1,8
0,240	2,1	2,0
0,270	2,2	2,3
0,300	2,5	2,4

Πίνακας 3: Επιταχύνσεις του συστήματος σωμάτων για τις διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Τέλος, αντικαθιστώντας στην εξίσωση (5) προκύπτουν οι τιμές για τους συντελεστές ολίσθησης για τις παραπάνω περιπτώσεις. Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Μάζα βαριδίων στο άγκιστρο (m_B)	Συντελεστές τριβής ολίσθησης μεγάλης επιφάνειας	Συντελεστές τριβής ολίσθησης μικρής επιφάνειας
0,090	0,33	0,32
0,120	0,39	0,38
0,150	0,43	0,43
0,180	0,48	0,48
0,210	0,52	0,54
0,240	0,57	0,59
0,270	0,64	0,63
0,300	0,67	0,70

Πίνακας 4: Συντελεστές τριβής ολίσθησης, όπως προκύπτουν από τη σχέση (5).

Συμπεράσματα

Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας έγινε ιδιαίτερη αναφορά στο γεγονός ότι τόσο ο συντελεστής στατικής τριβής όσο και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης εξαρτώνται από τη φύση των επιφανειών που έρχονται σε επαφή. Το γεγονός αυτό αναδεικνύεται στην πρώτη πειραματική διαδικασία. Είναι φανερό από την επεξεργασία των μετρήσεων ότι όταν το ξύλινο σώμα τείνει να κινηθεί ή κινείται πάνω σε διαφορετικές επιφάνειες οι τιμές των συντελεστών μεταβάλλονται.

Από τις τιμές των συντελεστών, που εμφανίζονται στον πίνακα 1 γίνεται φανερό ότι όσο πιο τραχιά είναι μία επιφάνεια τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής τριβής.

Ας σημειωθεί, πως σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής στατικής τριβής είναι μεγαλύτερος σε σχέση με το συντελεστή τριβής ολίσθησης.

Αν και δεν είναι δυνατό να ελεγχθεί η ορθότητα όλων των μετρήσεων που ελήφθησαν με την πρώτη διαδικασία, θα γίνει αναφορά στην περίπτωση που οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή είναι ξύλο με ξύλο. Οι τιμές που προσδιορίστηκαν για αυτή την περίπτωση φαίνονται και στον πίνακα 5.

	μ_s	μ_k
Ξύλο (νοβοπάν)	0,24	0,18
Σχεδόν Λείο Ξύλο	0,30	0,22
Τραχύ Ξύλο	0,28	0,25
Ξύλο MDF	0,23	0,15

Πίνακας 5: Συντελεστές στατικής τριβής και τριβής ολίσθησης για ξύλινες επιφάνειες

Σύμφωνα με τον Giancoli όταν οι επιφάνειες είναι ξύλο με ξύλο τότε ο συντελεστής στατικής τριβής είναι ίσος με μ_s=0,4 και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης ίσος με μ_k=0,2. Οι τιμές αυτές –και κυρίως του συντελεστή τριβής ολίσθησης, όπου με στρογγυλοποίηση σε κάθε περίπτωση προκύπτει η τιμή 0,2- είναι κοντά στις τιμές που προσδιορίστηκαν από την πρώτη πειραματική διαδικασία.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, καθώς μεταβάλλουμε το υλικό των επιφανειών με τις οποίες έρχεται σε επαφή το ξύλινο σώμα παρατηρείται μεταβολή στην τιμή των συντελεστών τριβής. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται, εκτός των άλλων και στις μοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο σωμάτων οι οποίες αντιπροσωπεύονται προσεγγιστικά με αυτό το συντελεστή και μάλιστα όσο μεγαλύτερη η αλληλεπίδραση τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του (Blau, 2008). Επιπλέον, η ελεύθερη επιφάνεια ενός οποιουδήποτε σώματος παρουσιάζει διαφορετική ηλεκτρονική δομή από τον όγκο του υλικού καθώς κάθε άτομο έχει το μισό αριθμό δεσμών από τα υπόλοιπα άτομα. Η πυκνότητα και η δομή των ηλεκτρονικών νεφών στην επιφάνεια επηρεάζει τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις άρα και την τριβή ανεξάρτητα από την τραχύτητα (Blau, 2008).

Η δεύτερη πειραματική διαδικασία είναι εκείνη που ανέδειξε δύο θέματα. Το πρώτο είναι αυτό που αναφέρεται και στη βιβλιογραφία και σχετίζεται με το ότι η τριβή ολίσθησης είναι ανεξάρτητη του εμβαδού των τριβομένων επιφανειών. Πράγματι η οριζόντια σύγκριση των τιμών για τους δύο συντελεστές, όπως αυτοί εμφανίζονται στον πίνακα 4, δείχνουν ότι ανεξάρτητα από το εμβαδό συνεπαφής οι συντελεστές είναι ίσοι. Μάλιστα, στρογγυλοποιώντας σε ένα δεκαδικό ψηφίο είναι ακριβώς ίσοι σε κάθε περίπτωση.

Το δεύτερο θέμα που προέκυψε είναι, ίσως και το πιο σημαντικό και θα μπορούσε να αποτελέσει το θέμα μελέτης μίας επόμενης εργασίας. Για το ίδιο ξύλινο σώμα που κινείται πάνω στην ξύλινη επιφάνεια, φαίνεται να υπάρχει εξάρτηση του συντελεστή τριβής ολίσθησης ως προς την ταχύτητα που αποκτά το ξύλινο σώμα. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερη είναι η επιτάχυνση, άρα και η μεταβολή της ταχύτητας, μεγαλώνει και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης, ξεκινώντας από την τιμή 0,3 και φθάνοντας στην τιμή 0,7. Η αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας ανέδειξε ότι κάτω από ορισμένες

συνθήκες είναι δυνατό να υπάρχει μία τέτοια εξάρτηση. Ο συντελεστής τριβής με την αύξηση της ταχύτητας μπορεί να παραμένει σταθερός, να αυξάνεται, να μειώνεται, αρχικά να αυξάνεται και στη συνέχεια να μειώνεται ή και αντίστροφα. Η εξάρτηση αυτή σχετίζεται με τη θέρμανση των επιφανειών που έρχονται σε επαφή κατά την κίνηση του σώματος και για αυτό οι μελέτες για την τριβή πραγματοποιούνται για μικρές ταχύτητες (<0,1m/s) (Blau, 2008).

Βιβλιογραφία

[1] Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. (2016). *Φυσική Β΄Γυμνασίου.* Αθήνα: Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων "Διόφαντος".
[2] Κόκκοτας, Π., Βλάχος, Ι. Α., Γραμματικάκης, Ι. Γ., Α., Κ. Β., Περιστερόπουλος, Π. Ε., & Τιμόθεου, Γ. Β. (2016). *Φυσική Γενικής Παιδείας Α΄Λυκείου.* Αθήνα: Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων "Διόφαντος".
[3] Alonso, M., & Finn, E. J. (1980). *Fundamental University Physics.* Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
[4] Blau, P. J. (2008). *Friction Science and Technology - From Concepts to Applications.* Florida: Taylor & Francis.
[5] Giancoli, D. C. (2000). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.* New Jersey: Prentice Hall.
[6] Serway, R. (1990). *PHYSICS FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS (ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ).* Αθήνα: Ιδιωτική.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία δε θα μπορούσε να εκπονηθεί χωρίς τη βοήθεια του παρασκευαστή του Ε.Ε.Ι. κ. Νίκου Κόγια.