

**ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ
ΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ
ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΙΔΙΚΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΣΟΥΖΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΑΡΑΚΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	v
Εισαγωγή	vii
Σκοπός	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	1
1.1 Χρήσιμοι ορισμοί	1
1.2 Περιστροφική κίνηση	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	7
2.1 Βαφή μεταλλικών επιφανειών	7
2.1.1 Αμμοβολή	7
2.1.2 Ηλεκτροστατική βαφή	9
2.2 Πλαίσιο	10
2.2.1 Μεταλλικές συνδέσεις –γωνίες	11
2.3 Διάδρομος	13
2.4 Μοτέρ	15
2.5 Ροοστάτης	17
2.6 Στροφόμετρο	17
2.6.1 Οδηγίες χρήσεις	18
2.6.2 Τεχνικές Προδιαγραφές	18
2.7 Δυναμόμετρο	19
2.8 Αμαξίδια	25
2.8.1 Υποδοχέας βαρώ	26
2.8.2 Βαρίδια	27

2.9 Υπόλοιπα μέρη	29
2.9.1 Μεταλλικό νήμα	29
2.9.2 Ρυθμιστής απόστασης	30
2.9.3 Βίδες – Παξιμάδια – Ροδέλες – Τσιμούχες	31
2.10 Πειραματική διάταξη	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	33
3.1 Πιστοποίηση	33
3.2 Όρια ασφαλών μετρήσεων	34
3.3 Πειραματικές διαδικασίες	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	43
4.1 Προβλήματα	43
4.2 Προτάσεις βελτίωσης	43
4.3 Συμπεράσματα	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα ‘‘ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ’’ με εισηγητή τον κ. Αλέξανδρο Καλαράκη πραγματοποιήθηκε στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας από το Φεβρουάριο του 2015 έως το Σεπτέμβριο του 2015. Σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν η κατασκευή εξ’ αρχής νέας πειραματικής διάταξης για τη μελέτη της κυκλικής κίνησης και της ροπής αδρανείας των σωμάτων. Απώτερος στόχος της πτυχιακής είναι ο εμπλουτισμός του εργαστηρίου Φυσικής του τμήματος με μία νέα πειραματική διάταξη η οποία θα δίνει τη δυνατότητα στους φοιτητές του τμήματος να διερευνήσουν τους νόμους που διέπουν την περιστροφική κίνηση των σωμάτων.

Στην πορεία προς την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας αντιμετωπίσαμε πάρα πολλές δυσκολίες οι οποίες θα ήταν αδύνατο να ξεπεραστούν χωρίς τη συνδρομή και υποστήριξη κάποιων εταιριών και προσώπων. Θα ήταν λοιπόν παράλειψη να μην ευχαριστήσουμε θερμά τις εταιρείες που μας βοήθησαν αλλά και μας προμήθευσαν με τα υλικά που χρειαζόμασταν. Πιο συγκεκριμένα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρεία Troxonet του κ. Κωνσταντάρα Γεώργιου, τον Μηλιτσόπουλο Γεώργιο ,τον κ. Λοτσάρη και το Τ.Ε.Ι που μας προμήθευσε τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό. Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε προσωπικά τον κ. Αλέξανδρο Καλαράκη που μας έδωσε το θέμα της πτυχιακής εργασία και στάθηκε δίπλα μας σε όλη την πορεία ολοκλήρωσής της καθώς και την κ. Τσώλου Γεωργία. Επίσης θα θέλαμε ευχαριστήσουμε όλο το τεχνικό προσωπικό του Troxonet και ιδίως τον Αγγελόπουλο Γεώργιο, τον Θανάση Πατακιάρα και τους φίλους Κούγια Βασίλη- Παναγόπουλο Κωνσταντίνο για όλες τις τεχνικές πληροφορίες και όλη την βοήθεια που μας παρείχαν. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος για όλα αυτά τα χρόνια που μας μετέδωσε χρήσιμες γνώσεις και μας θωράκισε για την μετέπειτα πορεία μας στο χώρο της μηχανολογίας και μας έβγαλε με αξιώσεις στην αγορά εργασίας

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουν επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουν υπεύθυνα ότι είναι συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, τα έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

Ο σπουδαστής
(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

Εισαγωγή

Η Κυκλική Κίνηση είναι μια κίνηση που οι άνθρωποι παρατηρούν πολύ συχνά στην καθημερινότητά τους, όπως στα ακόλουθα παραδείγματα: στην κίνηση των τροχών των ποδηλάτων και των αυτοκινήτων (παρόλο που στην περίπτωση αυτή η κίνηση είναι σύνθετη), στην περιστροφή ενός ανεμιστήρα και γενικότερα στην περιστροφή όλων των κινητήρων, ακόμη δε και σε κινήσεις που οι ίδιοι προκαλούν σε αντικείμενα π.χ. δεμένα σε κλωστές, κλπ. Επεκτείνοντας λίγο τις παρατηρήσεις τους, θα μπορούσαν να την συναντήσουν και στις κινήσεις πλανητών, δορυφόρων, κλπ.[13] Και ενώ είναι γενικά εύκολο να περιγράψουμε ή και να μελετήσουμε τα καθαρά κινητικά χαρακτηριστικά της, όπως ακτίνα, περίοδο, συχνότητα, γωνιακή και γραμμική ταχύτητα και τις σχέσεις τους, είναι μάλλον αδύνατο να παρατηρήσουμε την αιτία της, δηλαδή τα δυναμικά της χαρακτηριστικά, όπως την κεντρομόλο δύναμη και τις σχέσεις της με όλα τα προηγούμενα. Για να μπορέσουμε να κάνουμε αυτού του είδους τη μελέτη χρειάζεται να κάνουμε την πειραματική μελέτη της δυναμικής της και να καταφύγουμε σε πειραματικές διαδικασίες.

Σκοπός

Η πτυχιακή εργασία ξεκίνησε σαν ιδέα αρχικά από την παρουσία μας στο εργαστήριο φυσικής όταν διαπιστώσαμε ότι δεν υπήρχε πειραματική συσκευή η οποία μπορούσε να κάνει πειραματικές μετρήσεις πάνω στην περιστροφική κίνηση. Έτσι, επειδή υπήρχε ένα μεγάλο κενό σε αυτό το κομμάτι πήραμε την πρωτοβουλία και ήρθαμε σε επαφή με τον τότε υπεύθυνο εργαστηρίου φυσικής τον κ. Καλαράκη και με από κοινού συνεννόηση καταλήξαμε στην ανάθεση της συγκεκριμένης κατασκευής με σκοπό να μπορέσουν οι φοιτητές να μάθουν για την περιστροφική κίνηση. Ήταν ένα στοίχημα για εμάς καθώς θα έπρεπε να το κατασκευάσουμε από την αρχή αλλά πιστεύουμε ότι το αποτέλεσμα θα δικαίωνε και εμάς αλλά και το ΤΕΙ που μας εμπιστευτήκε αυτή την πτυχιακή. Σ' αυτή την εργαστηριακή άσκηση μελετάται η ροπή αδρανείας σωμάτων ως προς έναν άξονα περιστροφής, η οποία προσδιορίζεται σα συνάρτηση της μάζας του σώματος και της απόστασης από τον άξονα περιστροφής. Μέσα από αυτή τη πτυχιακή θα έχουμε τη δυνατότητα να ενημερωθούμε:

1. Τι είναι η κεντρομόλος δύναμη;
2. Τι είναι περιστροφική κίνηση;
3. Τι είναι γωνιακή ταχύτητα;
4. Τι είναι γωνιακή επιτάχυνση;
5. Ποια μεγέθη επηρεάζουν τα παραπάνω;
6. Γιατί είναι τόσο σημαντικό να ξέρουμε;
7. Γιατί κατασκευάστηκε το συγκεκριμένο πείραμα;
8. Τι οφέλη θα έχει για το φοιτητή;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1⁰

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Χρήσιμοι ορισμοί

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο και όλες οι πληροφορίες και τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την κατανόηση του θέματος. Για την πλήρη κατανόηση της εργασίας είναι απαραίτητα κάποια φυσικά μεγέθη, κάποιες αρχές, και κάποιοι νόμοι της φυσικής.

Δεύτερος νόμος του Νεύτωνα.

Όταν σε ένα σώμα η συνισταμένη των δυνάμεων που του ασκούνται είναι σταθερή και διάφορη του μηδενός τότε το σώμα κινείται ευθύγραμμα ομαλά επιταχυνόμενα. Για αυτή την κίνηση ισχύει ότι το μέτρο της συνισταμένης δύναμης είναι ίσο με το γινόμενο της μάζας του m με την επιτάχυνση του a .

$$F_{ολ} = ma \quad (1)$$

Τρίτος νόμος του Νεύτωνα.

Όταν ένα σώμα ασκεί μία δύναμη σε ένα άλλο τότε ασκείται ταυτόχρονα μία δύναμη αντίθετης κατεύθυνσης και ίδιου μέτρου από το δεύτερο σώμα στο πρώτο.

Ορμή.

Το φυσικό μέγεθος ορμή p ορίζεται ως το γινόμενο της ταχύτητας u ενός σώματος με την μάζα του m . [1]

$$p = mu \quad (2)$$

Αρχή διατήρησης της ορμής.

Όταν υπάρχει ένα μονωμένο σύστημα τότε η συνολική ορμή του συστήματος παραμένει σταθερή.

$$p_1 + p_2 = p_{αρχ} \quad (3)$$

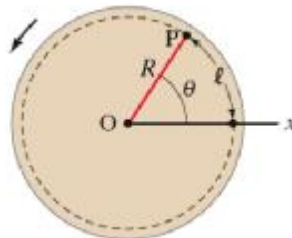
Κινητική ενέργεια. Είναι η ενέργεια που αποκτά ένα σώμα λόγω της κίνησής του [1].

$$K = \frac{1}{2} mu^2 \quad (4)$$

1.2 Περιστροφική Κίνηση

Στην παράγραφο αυτή θα εμβαθύνουμε στην έννοια της περιστροφής και θα περιγράψουμε τους νόμους που διέπουν την περιστροφική κίνηση ενός σώματος. Για διευκόλυνση μας, λοιπόν, θεωρούμε ότι ένα αντικείμενο μεγάλων διαστάσεων αποτελείται από μεγάλο αριθμό σωματίων, καθένα από τα οποία έχει τη δική του ταχύτητα και τη δική του επιτάχυνση. Η μελέτη της περιστροφής ενός σώματος απλουστεύεται πολύ εάν υποθέσουμε ότι το σώμα είναι στερεό. Ορίζουμε ότι ένα στερεό σώμα είναι σκληρό και άκαμπτο, δηλαδή οι αποστάσεις ανάμεσα σε οποιοδήποτε σύνδεσμο ανά δύο των σωματίων που το αποτελούν παραμένουν σταθερές. Βεβαίως, στην πραγματικότητα το σχήμα όλων των σωμάτων παραμορφώνεται. Θα δούμε όμως ότι η παραπάνω προσέγγιση μας είναι χρήσιμες στις περιπτώσεις κατά τις οποίες μπορούμε να αγνοήσουμε τις παραμορφώσεις. Σε μια καθαρά περιστροφική κίνηση, όλα τα σημεία του αντικειμένου κινούνται κυκλικά γύρω από άξονα περιστροφής (“Ο”). Η ακτίνα του κύκλου είναι R . Όλα τα σημεία που βρίσκονται πάνω σε ευθεία που τέμνει τον άξονα περιστροφής διαγράφουν την ίδια γωνία στον ίδιο χρόνο. Η γωνία θ σε radians (ακτίνια) ορίζεται:

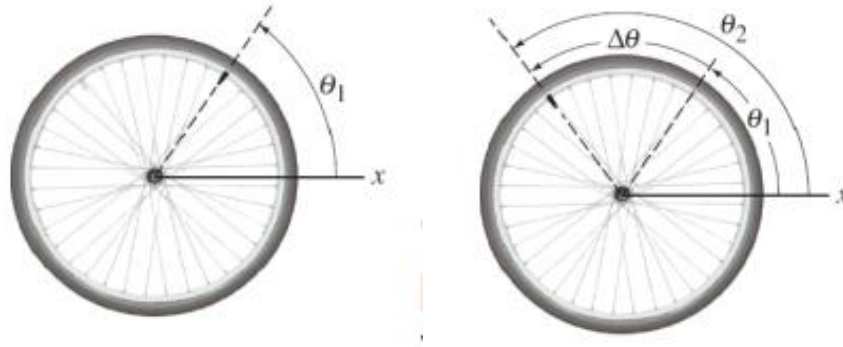
$$\theta = \frac{l}{R} \quad (5)$$



Σχ. 1 Περιστροφή γύρω από άξονα [11]

όπου l το μήκος του τόξου.

Γωνιακή Μετατόπιση: $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ (6)



Σχ. 2 Μετατόπιση της γωνίας [11]

Η μέση γωνιακή ταχύτητα είναι ο λόγος της γωνιακής μετατόπισης ως προς το χρόνο:

$$\tilde{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (7)$$

Στιγμιαία γωνιακή ταχύτητα:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (8)$$

Η γωνιακή επιτάχυνση είναι διανυσματικό μέγεθος που ισούται με τον ρυθμό μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας κάθε σημείου ενός σώματος που εκτελεί περιστροφική κίνηση και μετράτε σε ακτίνια ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (rad/s^2). Συμβολίζεται διεθνώς με το ελληνικό γράμμα a και μαθηματικά εκφράζεται από την σχέση:

$$\bar{a} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta\tau} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (9)$$

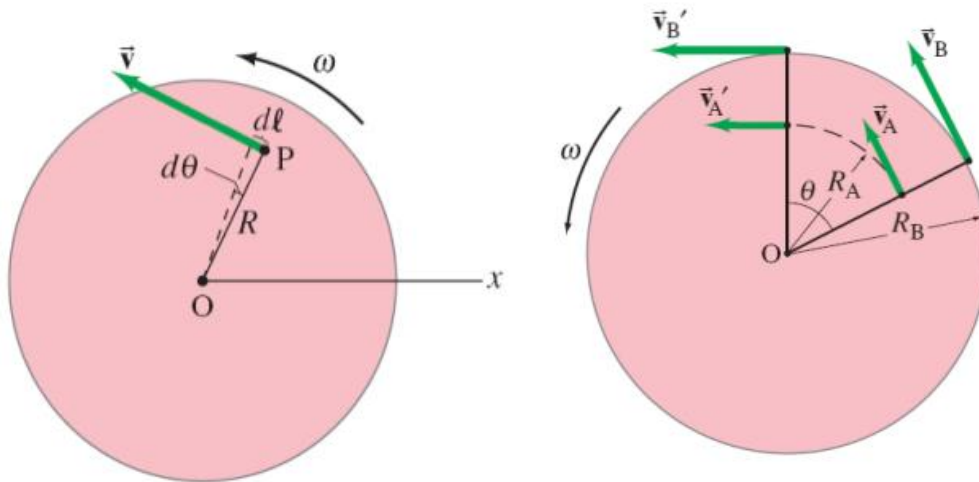
Και αντίστοιχα στιγμιαία γωνιακή επιτάχυνση:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (10)$$

Κάθε σημείο ενός σώματος που περιστρέφεται έχει γωνιακή ταχύτητα ω και γραμμική ταχύτητα v , που συνδέονται με τη σχέση:

$$u = R\omega \quad (11)$$

Όσο μεγαλύτερη η απόσταση από τον άξονα περιστροφής τόσο μεγαλύτερη η γραμμική ταχύτητα [11]



Σχ. 3 Γραμμική ταχύτητα σε σχέση με τον άξονα [11]

Η γωνιακή ταχύτητα μεταβάλλεται όταν υπάρχει εφαπτόμενη επιτάχυνση :

$$\alpha_{tan} = \frac{du}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\alpha \quad (12)$$

Εφόσον έχουμε περιστροφική κίνηση έχουμε αναγκαστικά ακτινική επιτάχυνση (κεντρομόλος):

$$\alpha_R = \frac{u^2}{R} = \frac{(R\omega)^2}{R} = \omega^2 R \quad (13)$$

Η συχνότητα είναι ο αριθμός των περιστροφών (πλήρης) ανά δευτερόλεπτο (s):

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (14)$$

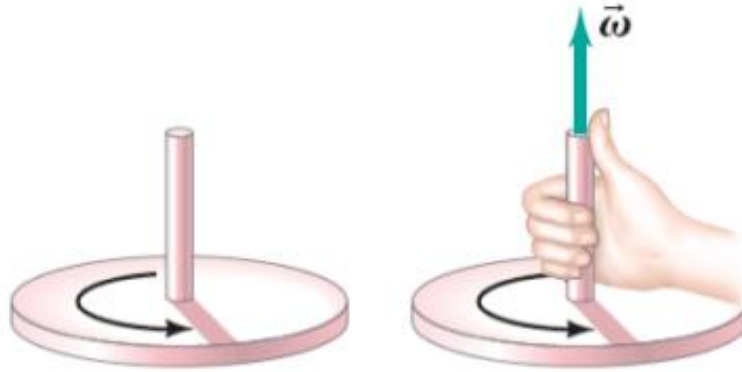
Η Μονάδα συχνότητας είναι το hertz:

$$1 \text{ HZ} = 1 \text{ s}^{-1} \quad (15)$$

Η περίοδος είναι αντίστροφη της συχνότητας:

$$T = \frac{1}{f} \quad (16)$$

Το διάνυσμα της γωνιακής ταχύτητας έχει διεύθυνση τον άξονα περιστροφής και κατεύθυνση (προσανατολισμό) αυτή που προβλέπει ο κανόνας δεξιόστροφου κοχλίου (ή της δεξιάς παλάμης).



Σχ. 4 Κανόνας δεξιόστροφου [11]

Στη Φυσική με τον όρο *ροπή* χαρακτηρίζεται το μέτρο της επίδρασης που ασκεί μία δύναμη F κατά την διάρκεια της περιστροφής ενός σώματος γύρω από έναν άξονα. Είναι ανάλογη της απόστασης από το κέντρο του άξονα και της κάθετης συνιστώσας της δύναμης στην ακτίνα περιστροφής. Η ροπή δίνεται από την σχέση:

$$t = rF \quad (17)$$

όπου r η απόσταση του σημείου εφαρμογής της δύναμης από τον άξονα περιστροφής και F η δύναμη. [11]

Για να αρχίσει να περιστρέφεται ένα αντικείμενο απαιτείται δύναμη. Το σημείο στο οποίο ασκείται η δύναμη αλλά και η διεύθυνσή της είναι ουσιώδη. Η απόσταση του σημείου στο οποίο δρα η δύναμη περιστροφής από τον άξονα περιστροφή ονομάζεται *μοχλοβραχίονας*.

Η *ροπή αδράνειας* εκφράζει την κατανομή των υλικών σημείων ενός σώματος ως προς έναν άξονα περιστροφής και έχει τη φυσική σημασία της ικανότητας των στερεών να αντιστέκονται σε μεταβολές της περιστροφικής τους κατάστασης. Συμβολίζεται με I και έχει μονάδες $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ στο S.I. Υπολογίζεται ως άθροισμα γινομένων στοιχειωδών μαζών επί το τετράγωνο της απόστασης τους από έναν άξονα. Η σχέση που δίνει την ροπή αδράνειας ως προς σύστημα αναφοράς του οποίου η αρχή βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής είναι η εξής [3]:

$$I = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \sum r^2 \Delta m \quad (18)$$

ενώ στην περίπτωση που έχουμε συνεχή κατανομή μάζας:

$$I = \int r^2 dm \quad (19)$$

Κυκλική κίνηση

Κυκλική κίνηση είναι η κίνηση η οποία εκτελείται πάνω σε ένα νοητό κύκλο. Η κυκλική κίνηση είναι αποτέλεσμα μίας δύναμης που ασκείται από το κέντρο του κύκλου με φορά προς αυτό και είναι πάντα κάθετη στην φορά κίνησης. Αυτή η δύναμη ονομάζεται *κεντρομόλος*. Στην ομαλή κυκλική κίνηση η τιμή της ταχύτητας είναι σταθερή, όμως η διεύθυνση και η φορά αλλάζουν συνεχώς. Άρα το διάνυσμα της ταχύτητας αλλάζει με αποτέλεσμα να εμφανίζεται επιτάχυνση που έχει κατεύθυνση προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.[13] Αποδεικνύεται ότι το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$a_k = \frac{u^2}{R} \quad (13)$$

Κεντρομόλος δύναμη

Όταν ένα σώμα εκτελεί κυκλική κίνηση, δηλαδή περιστρέφεται διαγράφοντας κύκλο γύρω από ένα σταθερό σημείο στον χώρο, τότε στο σώμα ασκείται δύναμη η οποία έχει φορά προς το κέντρο του κύκλου αυτού που διαγράφει η τροχιά του. Αυτή η δύναμη ονομάζεται κεντρομόλος [3]

$$F_k = \frac{mu^2}{R} \quad (20)$$

Όπως όμως είναι γνωστό, όταν βρισκόμαστε σε σύστημα αναφοράς το οποίο περιστρέφεται (π.χ. στο κέντρο του κύκλου γύρω από τον οποίο περιστρέφεται το κινητό) τότε το σύστημά μας δεν είναι αδρανειακό. Σε αυτό το σύστημα αναφοράς για να εξηγήσουμε το γεγονός ότι το κινητό διατηρεί σταθερή απόσταση r από το κέντρο και ότι ασκείται μια τάση στο νήμα το οποίο ενώνει το κινητό με το κέντρο περιστροφής εισάγουμε την έννοια της *φυγόκεντρος* δύναμης (F_ϕ). Η φυγόκεντρος αυτή δύναμη έχει μέτρο ίσο με την κεντρομόλο δύναμη, αλλά η φορά της είναι αντίθετη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξηγούνται αναλυτικά τα στάδια κατασκευής όλων των τμημάτων της πτυχιακής μας εργασίας από την αρχή έως το τέλος της. Ξεκίνησε από το σκελετό (πλαίσιο) που στηρίχτηκαν και στερεώθηκαν το μοτέρ, ο διάδρομος, τα αμαξίδια με τα βάρη τους και το ροοστάτη και τέλειωσε με την τοποθέτηση του δυναμόμετρου και του στρόφομετρου.

2.1 Βαφή μεταλλικών επιφανιών

Το αρχικό στάδιο της κατασκευής της πειραματικής διάταξης περιλάμβανε την κατεργασία και τη βαφή των μετάλλων καθώς τα μεταλλικά τμήματα δεν είχαν κάποιο προστατευτικό χρώμα ή βερνίκι με αποτέλεσμα την εξωτερική τους αλλοίωση με την πάροδο του χρόνου. Για το σκοπό αυτό τα μεταλλικά μέρη αρχικά πέρασαν από τη διαδικασία της αμμοβολής και βάφθηκαν με την καλύτερη δυνατή βαφή -την ηλεκτροστατική. Παρακάτω εξηγούνται λεπτομερώς τα δύο αυτά στάδια καθώς ήταν πολύ σημαντικά για κατασκευή τόσο από άποψη ευστάθειας όσο και από άποψη αισθητικής.

2.1.1 Αμμοβολή

Αμμοβολή είναι η μέθοδος καθαρισμού μεγάλης επιφάνειας, ή αφαίρεσης μπογιάς, σκουριάς, βερνικιού, κ.α., ή ακόμα εγγραφής (υαλουργία), με εκτόξευση άμμου προς αυτήν. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε οξείδιο του αλουμίνιου. Ωστόσο, ανάλογα με την εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά ανακυκλώσιμα ή μη ανακυκλώσιμα. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά κάποια από τα υλικά καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 1 Μηχάνημα αμμοβολής [9]



Εικόνα 2 Μηχ. εξάρτημα πριν και μετά την αμμοβολή [9]

Ανακυκλώσιμα Υλικά [9]:

- **Καφέ Οξείδιο του αλουμινίου (Brown Fused Aluminum Oxide)**

Πολύ επιθετικό υλικό (κοφτερό) κατάλληλο για τον καθαρισμό μεταλλικών αντικειμένων (αφαίρεση χρώματος σκουριάς, διάβρωσης κλπ.). Το πιο διαδεδομένο σε καμπίνες αμμοβολής ή όταν μπορούμε να ξαναμαζεύουμε το υλικό. Χρησιμοποιείται σε διάφορες κοκκομετρίες από 45 έως 2800μm.



- **Λευκό Οξείδιο του αλουμινίου (White Aluminum Oxide)**

για οδοντοτεχνίτες κυρίως, σε κοκκομετρίες 50μm, 110μm, 250μm, καθαρότητας 99,78%, Αυστριακής προέλευσης, σε πολύ ανταγωνιστική τιμή.



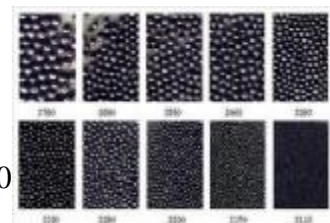
- **Υαλοσφαιρίδιο (Glass Beads)**

Σε σχέση με το οξείδιο είναι πιο ήπιας μορφής υλικό (όχι κοφτερό), αλλά με καλύτερη τελική επιφάνεια στο αντικείμενο (επιφάνεια σατινέ). Χρησιμοποιείται κυρίως στα αλουμίνια και σε ευαίσθητα μέταλλα. Χρησιμοποιείται σε διάφορες κοκκομετρίες από 40 έως 850μm.



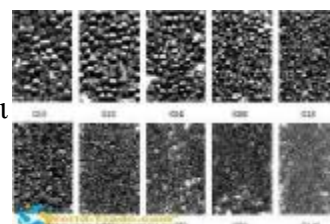
- **Χαλβοσφαιρίδιο (Steel Shot)**

Πολύ ανθεκτικό υλικό με κύκλο ζωής έως 3000 φορές, ιδανικό για shot peening. Έχει σφαιρικό σχήμα και συστήνεται για αμμοβολές πιεστικού τύπου. Χρησιμοποιείται σε διάφορες κοκκομετρίες από 80 έως 2360μm.



- **Χαλβότριμμα (Steel Grit)**

Ίδια χημική σύνθεση με το παραπάνω. Η διαφορά τους είναι ότι έχει γωνιώδες σχήμα κάτι που το καθιστά πολύ κοφτερό αλλά με μικρότερη διάρκεια ζωής. Και αυτό συστήνεται για πιεστικές αμμοβολές. Χρησιμοποιείται σε διάφορες κοκκομετρίες από 120 έως 2800μm.



- **Steel Cut Wire**

Είναι σύρμα κομμένο, ακόμα πιο κοφτερό και πιο ανθεκτικό από τα παραπάνω ενώ δημιουργεί και μικρότερες φθορές στα μέρη της τουρμπίνας. Χρησιμοποιείται σε διάφορες κοκκομετρίες από 300 έως 2400μm.



- **Πλαστικό υλικό (Plastic Media)**

Δεν τραυματίζει καθόλου την αρχική επιφάνεια και αφαιρεί μόνο τα ξένα σώματα. Χρησιμοποιείται κυρίως στην αεροναυπηγική και στην βιομηχανία τροφίμων. Χρησιμοποιείται σε κοκκομετρία από 425 έως 850μm.



Μη Ανακυκλώσιμα Υλικά:

- **Χαλαζιακή άμμος (Silica Sand)**

Επιθετικό και οικονομικό υλικό αλλά επιβλαβή για την υγεία. Προτείνεται για υδροαμμοβολή ή αμμοβολή ανοικτού κυκλώματος αλλά πάντα με την χρήση μέσων προστασίας. Χρησιμοποιείται σε διάφορες κοκκομετρίες από 100 έως 1000μm.



- **Σόδα (SodaBlasting)**

Οικολογική μέθοδος καθαρισμού, αφαιρεί μόνο τα ξένα σώματα και δεν τραυματίζει, ούτε ματάρει καθόλου την αρχική επιφάνεια. Άλλα πλεονεκτήματα: Υδατοδιαλυτό, Δεν γδέρνει, Δουλεύεται γρήγορα, Δεν στρεβλώνει, Οικολογικό - Μη τοξικό, Αφαιρεί τα λιπαρά στοιχεία, Αβλαβές.



- **Μαύρο υλικό λαρίμνης (Iron Slag)**

Πολύ οικονομικό υλικό, το πλέον διαδεδομένο για εξωτερικές εργασίες αμμοβολισμού. Χρησιμοποιείται μόνο σε αμμοβολές ανοικτού κυκλώματος καθώς δεν ανακυκλώνεται και δημιουργεί πολύ σκόνη. Χρησιμοποιείται σε δύο κοκκομετρίες 0,5 - 1mm και 0,5 - 2,7mm. [9]



2.1.2 Ηλεκτροστατική βαφή

Μετά την αμμοβολή και εφόσον είχαν καθαρίσει τα μέταλλα σειρά είχε η διαδικασία της ηλεκτροστατικής βαφής. Με την **ηλεκτροστατική βαφή**, προστίθεται και επικαλύπτεται η επιφάνεια του αλουμινίου με ένα στρώμα πολυεστερικής βαφής. Η κατάλληλη προεργασία της επιφάνειας, η σύσταση της πολυεστερικής βαφής και οι συνθήκες εφαρμογής εξασφαλίζουν την προστασία της επιφάνειας του αλουμινίου από τη διάβρωση. [10]



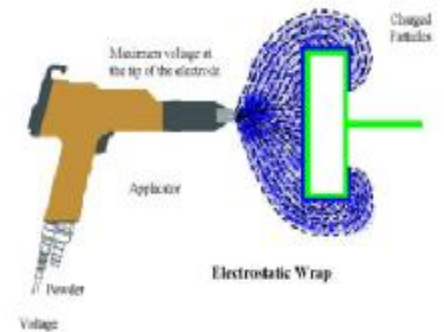
Εικόνα 3 Ηλεκτροστατική βαφή [13]

Μερικά από τα χαρακτηριστικά της ηλεκτροστατικής βαφής είναι τα εξής:

- Η αντιδιαβρωτική προστασία που προσφέρει στο αλουμίνιο είναι πάρα πολύ καλή, εφ' όσον τηρηθούν όλες οι συνθήκες παραγωγικής διαδικασίας, εφαρμογής και χρήσης.
- Η ηλεκτροστατική βαφή προσφέρει απεριόριστη επιλογή χρωμάτων.
- Η βαφή είναι ένα στρώμα διαφορετικής σύστασης και υφής από το αλουμίνιο. Τα δύο υλικά παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στις μηχανικές καταπονήσεις και καιρικές συνθήκες και έτσι υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης αποκολλήσεων.

Η ηλεκτροστατική βαφή του αλουμινίου είναι μια νέα, σχετικά, μέθοδος. Είναι φυσικό να υπάρχουν ακόμη θέματα προς διερεύνηση, ιδιαίτερα όσον αφορά την συμπεριφορά του συστήματος βαφή-μέταλλο αλουμίνιο στο χρόνο. Όμως, η συνεχής έρευνα και η καθημερινά αποκτούμενη εμπειρία, βοηθούν στην εξεύρεση των κατάλληλων λύσεων.

Μια λεπτομέρεια που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των προφίλ αλουμινίου που πρόκειται να υποστούν βαφή είναι η διαφορετική επίδραση των δύο μεθόδων στις τελικές διαστάσεις. Το επίστρωμα ηλεκτροστατικής βαφής, που το πάχος του είναι μεγαλύτερο από 60 μικρά και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φθάσει και πάνω από 120 μικρά, προστίθεται στην επιφάνεια του μετάλλου και επιδρά στις διαστάσεις για αυτό ήμασταν πολύ προσεκτικοί στους συνδέσμους(ώστε να μην σπάσει από τις βίδες στο σφίξιμο.



Εικόνα 4 ηλεκτροστατική βαφή [13]

2.2 Πλαίσιο

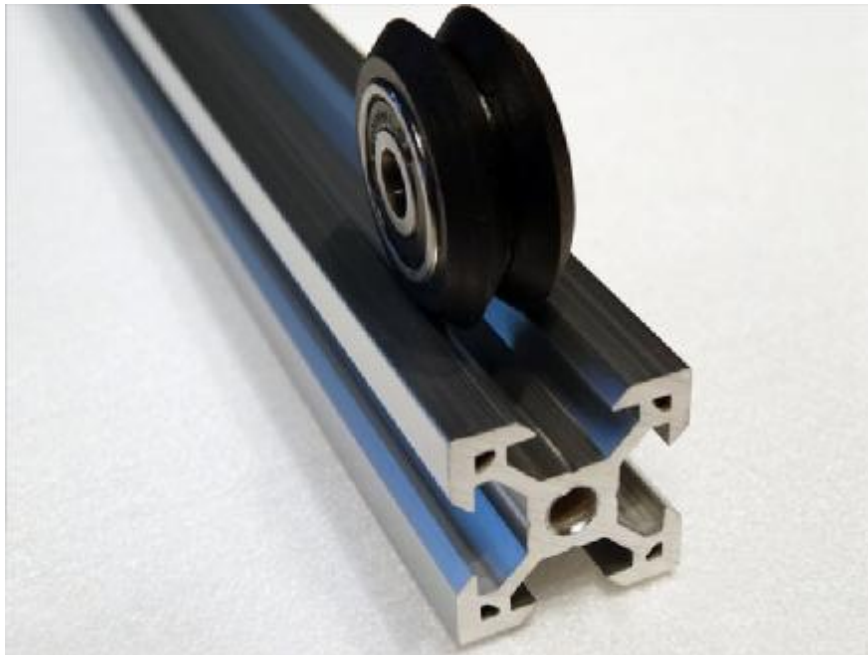
Το μεγάλο στοίχημα για την κατασκευή του πλαισίου ήταν η επιλογή ενός υλικού που θα συνδυάζε τα εξής χαρακτηριστικά: α. να είναι σχετικά μικρού βάρους, β. να είναι εύκολα συναρμολογήσιμο και γ. να μπορεί να βρεθεί εύκολα στην αγορά.

Το υλικό που συνδυάζει τα χαρακτηριστικά αυτά είναι το αλουμίνιο. Ωστόσο η εύρεση βέργας αλουμινίου με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και για τη συγκεκριμένη εφαρμογή αποδείχθηκε εξαιρετικά χρονοβόρα. Μετά από εκτεταμένη αναζήτηση βρέθηκε στην περιοχή της Πάτρας μία βέργα δύο περίπου μέτρων η οποία αγοράστηκε και στη συνέχεια κόπηκε με τη βοήθεια τροχού σε έξι ίσα κομμάτια τα οποία και αποτέλεσαν το σκελετό του πειράματός μας. Έπειτα αφού καθαρίστηκαν τα γρέζια που είχαν μείνει με το κόψιμο, περάστηκαν αμμοβολή και βάφτηκαν έντονο πορτοκαλί (το χρώμα επιλέχτηκε γιατί βοηθούσε με τη φωτοτύλη που αρχικά λέγαμε να χρησιμοποιήσουμε).



Εικόνα 5 Μέρος πλαισίου [10]

Το πλαίσιο που κατασκευάστηκε είναι σχετικά εύκολο και να συναρμολογηθεί - αποσυναρμολογηθεί αλλά και να προσαρτηθούν τα υπόλοιπα μέρη της πειραματικής διάταξης με σχετική ευκολία.



Εικόνα 6 Πλαίσιο [10]

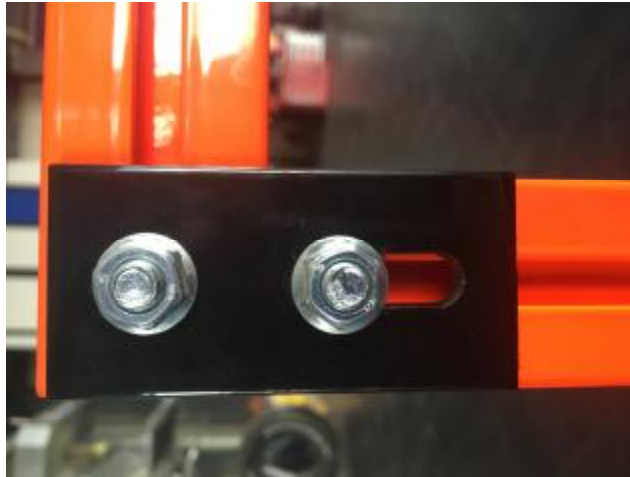


Εικόνα 7 Διάταξη πλαισίων συσκευής

2.2.1 Μεταλλικές συνδέσεις γωνίες

Το επόμενο βήμα ήταν η εύρεση του τρόπου συνδυασμού των μεταλλικών πλαισίων μεταξύ τους έτσι ώστε να μην έχουν ανοχές αλλά και να είναι εύκολο να λυθούν αν κριθεί σκόπιμο στο μέλλον. Επειδή όπως έχει ήδη αναφερθεί μία τέτοια κατασκευή δεν ήταν διαθέσιμη στην αγορά και έτσι δεν υπήρχε έτοιμη λύση, προκειμένου να ξεπεραστεί το

πρόβλημα υλοποιήθηκαν οι εξής ενέργειες: Επιλέχθηκε μία μεταλλική λωρίδα η οποία στη συνέχεια κόπηκε σε οκτώ κομμάτια τα οποία αποτέλεσαν τις συνδέσεις. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια τρυπανιού ανοίχθηκαν σε αυτά τρύπες έτσι ώστε να μπορούν να προσαρτηθούν οι βίδες αργότερα. Από τις οκτώ συνδέσεις οι τέσσερις πήγαν σε ειδική εργαλειομηχανή (στράτζα) έτσι ώστε να γίνουν υπό γωνία 90° και να στηρίξουν κάθετα τη μεταλλική κατασκευή. Τέλος, αμμοβολίστηκαν και αυτές και βάφτηκαν σε μαύρο γυαλιστερό χρώμα ώστε να κάνουν αντίθεση με την υπόλοιπη συσκευή.



Εικόνα 8 Μεταλλική σύνδεση



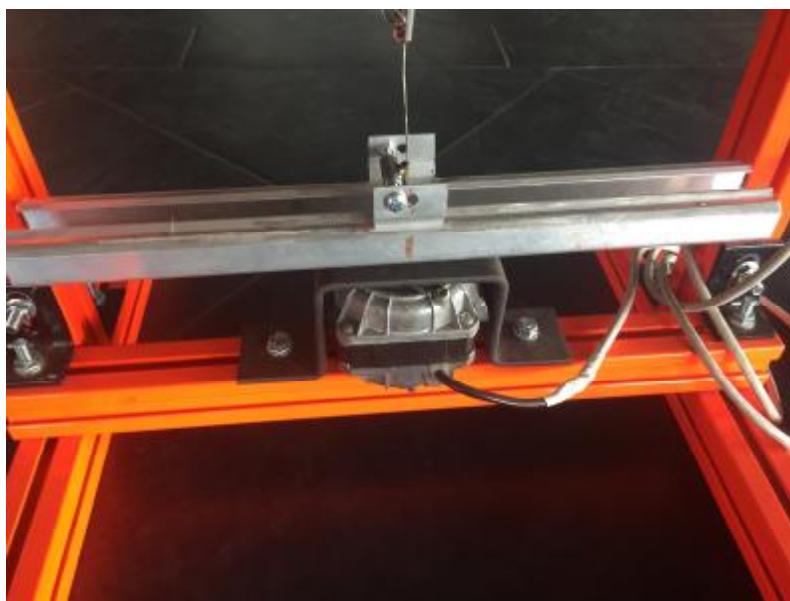
Εικόνα 9-10 Μεταλλικές γωνίες σύνδεσης

2.3 Διάδρομος

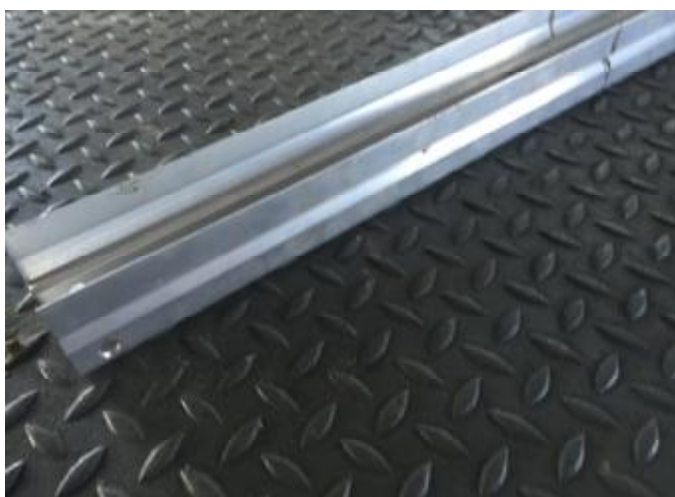
Ο διάδρομος ήταν το πιο σημαντικό κομμάτι στην πτυχιακή εργασία τόσο από θέμα κατασκευής όσο και από θέμα στήριξης. Έπρεπε να βρεθεί ένα μεταλλικό κομμάτι το οποίο να συνδυάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- α. να είναι ελαφρύ έτσι ώστε να μπορεί να περιστρέφεται εύκολα και
- β. να μην είναι πολύ ανοιχτό στο πάνω μέρος για να μπορούν να στηρίζονται σωστά πάνω του τα βαγόνια.

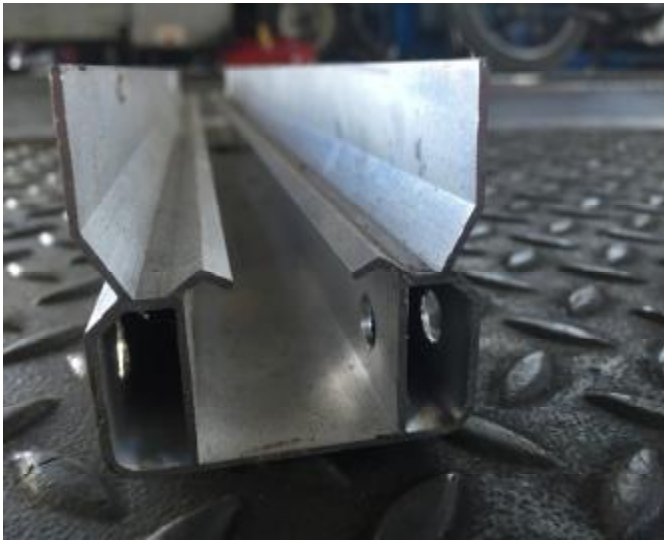
Μετά από εκτεταμένη αναζήτηση καταλήξαμε σε ένα κομμάτι από αλουμίνιο το οποίο μετά από πολύ τροχό και άλλες κατεργασίες μορφοποιήθηκε στο διάδρομο της Εικόνας 10 ο οποίος και τοποθετήθηκε στη συσκευή. Ο διάδρομος κόπηκε στα 36 cm και βαθμονομήθηκε σε 18 cm και 18 cm σε κάθε πλευρά. Το μόνο που έμεινε ήταν δύο μεταλλικά κομματάκια (αυτιά) στα οποία χρησιμοποιήθηκε τρυπάνι για να τοποθετηθεί ένας πείρος για να συγκρατεί το νήμα και να το γυρίζει υπό 90° στο δυναμόμετρο. Επιπρόσθετα το σύνολο των τμημάτων αυτών έπρεπε να ισοροπήσουν τέλεια έτσι ώστε να είναι αξιόπιστες οι μετρήσεις που προκύπτουν από τη χρήση της συσκευής. Η διαδικασία αυτή εξισορρόπησης και τελειοποίησης της συσκευής αποδείχθηκε εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα.



Εικόνα 10 Μεταλλικός διάδρομος



Εικόνα 11 Διαγώνια όψη μεταλ. διαδρόμου



Εικόνα 12 Πλάγια όψη μεταλ. διαδρόμου



Εικόνα 13 Διαγώνια όψη μεταλ. διαδρόμου



Εικόνα 14 Πλάγια όψη μεταλ. διαδρόμου

2.4 Μοτέρ

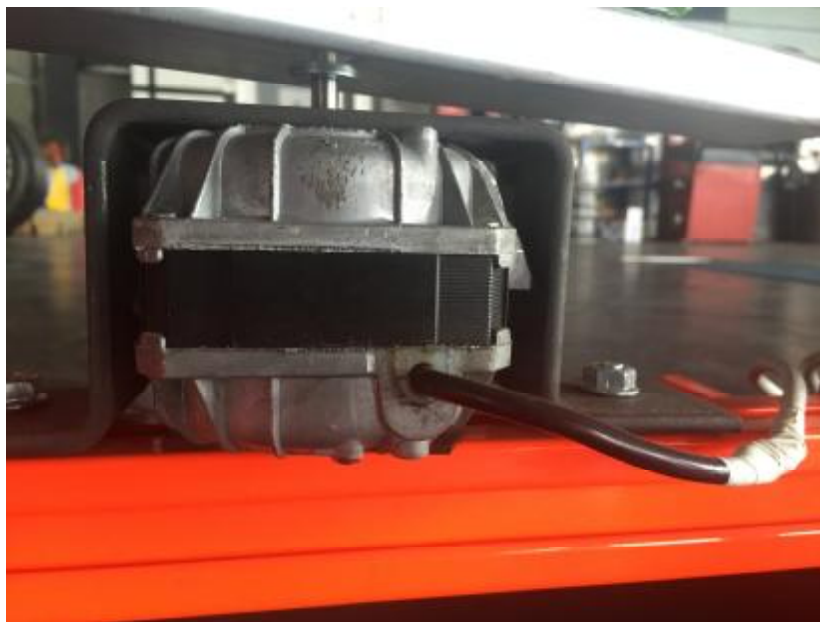
Το μοτέρ ήταν επίσης πολύ σημαντικό για τη συσκευή μας καθώς θα έπρεπε να είναι 220 V για να έχει αρκετή δύναμη να γυρίσει το διάδρομο και όλα τα βάρη που προσαρτούνται σε αυτόν (αμαξίδια-βάρη-νήματα) αλλά και να έχει σχετικά μικρό μέγεθος. Μετά από εκτεταμένη αναζήτηση επιλέχθηκε μοτέρ από ανεμιστήρα που συνδυάζει επιτυχώς τα παραπάνω επιθυμητά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, το μοτέρ επιλέχτηκε μέσα από αλλά τρία καθώς είχε α. την απαιτούμενη δύναμη και β. στο πάνω μέρος είχε χώρο και σπείρες ώστε να ταιριάζουμε το διάδρομο και να το βάλουμε σε ισορροπία. Το μόνο αλλά σημαντικό πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί ήταν η μετατροπή του μοτέρ σε 12 V και η επιλογή κατάλληλου ροοστάτη για τη ρύθμιση των στροφών. Επειδή ήταν ένα από τα σημαντικά προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπισθεί θα αναφερθούμε εκτενώς σε επόμενη παράγραφο. Πριν ενσωματωθεί το μοτέρ στην πειραματική διάταξη προστέθηκε στο κάτω μέρος του λάστιχο (τμήμα από σαμπρέλα) με σκοπό την αποφυγή των κραδασμών αλλά και την επίτευξη καλύτερης σταθερότητας. Τέλος, μετρήθηκε και μπήκε ακριβώς στο κέντρο της συσκευής μας έτσι ώστε ο άξονας του κέντρου του να περνάει από τον άξονα του δυναμόμετρου.



Εικόνα 15 Μοτέρ συσκευής



Εικόνα 16 διαφορετική όψη μοτέρ



Εικόνα 17 Κάθετη πίσω όψη μοτέρ

2.5 Ροοστάτης



Εικόνα 18 Ροοστάτης [14]

Ο ροοστάτης ήταν βασικός για την υπό μελέτη διάταξη καθώς καθορίζει / ελέγχει την κίνηση του διαδρόμου (ποσό αργά ή γρήγορα περιστρέφεται ο διάδρομος) και επομένως μεταβάλλει τη γωνιακή ταχύτητα. Αλλά τι είναι ροοστάτης?

Ο ροοστάτης είναι ουσιαστικά ένα κύκλωμα στο οποίο μπορούμε να μεταβάλλουμε την αντίσταση γυρίζοντας έναν διακόπτη δεξιά-αριστερά.

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (21)$$

όπου I η ένταση του ρεύματος, V η τάση που είναι σταθερή και R η αντίσταση, αν αυξηθεί η τιμή της αντίστασης R τότε μειώνεται η ένταση του ρεύματος και επομένως ο διάδρομος κινείται πιο αργά. Έτσι εφόσον ο ροοστάτης είναι μια ρυθμιζόμενη αντίσταση, δηλαδή μπορούμε να μεταβάλλουμε την τιμή της στο μισό και η τάση παραμένει η ίδια, τότε σύμφωνα με το νόμο του Ohm θα περάσει το διπλάσιο ρεύμα από το καλώδιο και άρα θα πάει πιο γρήγορα. Ανάποδα τώρα, αν αυξήσουμε την τιμή της αντίστασης του ροοστάτη τότε το ρεύμα θα μειωθεί και άρα η ταχύτητα του διαδρόμου θα μειωθεί. Επειδή ένας ροοστάτης για μοτέρ 220 V ήταν δύσκολο να βρεθεί, ο ροοστάτης που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διάταξη παρουσιάζει κάποιες μικρές αποκλίσεις στη γωνιακή ταχύτητα για μικρές τιμές της έντασης του ρεύματος.

2.6 Στροφόμετρο

Ο αρχικός σχεδιασμός της πειραματικής διάταξης περιελάμβανε τη χρήση φωτοπύλης. Ωστόσο στην πορεία η ιδέα της φωτοπύλης αντικαταστάθηκε με τη χρήση στροφόμετρου για λόγους κυρίως κόστους αλλά και ευκολίας εύρεσης και χρήσης. Έτσι και θα είχαμε κάτι φορητό το οποίο θα μπορούσαν οι φοιτητές να πάρουν μετρήσεις εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια αλλά και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε άλλη εργαστηριακή άσκηση του

εργαστηρίου Φυσικής. Το στροφόμετρο ήταν πολύ σημαντικό για την πτυχιακή μας καθώς σε συνδυασμό με το ροοστάτη μπορεί να ελέγξει αλλά και να καταγράψει τη γωνιακή ταχύτητα. Έτσι η χρήση του στροφόμετρου στην παρούσα πειραματική διάταξη δίνει τη δυνατότητα επέκτασης της μελέτης της περιστροφικής κίνησης σε διαφορετικές τιμές γωνιακής ταχύτητας. Στην ουσία η γωνιακή ταχύτητα που δείχνει το στροφόμετρο είναι το μισό από αυτό διότι ο διάδρομος περνάει από το λείζερ διπλάσιες φορές το λεπτό (επειδή έχει 2 άκρα). Για να λειτουργήσει καλά το στροφόμετρο αλλά και για να πάρουμε σωστές μετρήσεις πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα όρια λειτουργίας του κατασκευαστή αλλά και τις τεχνικές προδιαγραφές. Παρακάτω αναφέρουμε συνοπτικά τις οδηγίες χρήσης του στροφόμετρου καθώς και τις τεχνικές του προδιαγραφές.

Προειδοποίηση

• Ποτέ μην στρέψετε την ακτίνα laser κατευθείαν προς τα μάτια ανθρώπων ή ζώων.

2.6.1 Οδηγίες χρήσης

1. Τοποθετήστε το στροφόμετρο σε μια επίπεδη επιφάνεια. Η απόσταση μεταξύ του στροφόμετρου και του αντικειμένου (ή των αντικειμένων) που διακόπτουν τη φωτεινή δέσμη φωτός δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50 εκατοστά και η γωνία που σχηματίζει το στροφόμετρο με το επίπεδο που ορίζει το μετρούμενο αντικείμενα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30ο
2. Διευθετήστε τη θέση του οργάνου των αντικειμένων και τη θέση της φωτιστικής πηγής
3. Ενεργοποιήστε το στροφόμετρο
4. Στρέψτε το στροφόμετρο προς το αντικείμενο (ή τα αντικείμενα που θέλετε να καταμετρήσετε).
5. Στην οθόνη θα εμφανιστεί ο ρυθμός περιστροφής του αντικειμένου που περιστρέφεται .

ΠΡΟΣΟΧΗ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΙΑΙΡΕΘΕΙ ΔΙΑ ΔΥΟ

6. Απενεργοποιήστε τη φωτεινή πηγή του όργανο Laser) σύμφωνα με τις οδηγίες

2.6.2 Τεχνικές προδιαγραφές

Περιγραφή

- Οθόνη 5 ψηφίων, 18mm LCD.
- Εύρος: 2,5 έως 99.999 στροφές
- Ανάλυση: 0,1 σ.α.λ. (2,5 - 999,9 RPM) 1 RPM (πάνω από 1.000 RPM)
- Ακρίβεια: + / - (0,05% 1 ψηφίο)
- Απόσταση: 50 έως 500 χιλιοστά
- Μέγεθος: 13x7x2.9cm



Εικόνα 19 Στροφόμετρο και βιβλίο οδηγιών



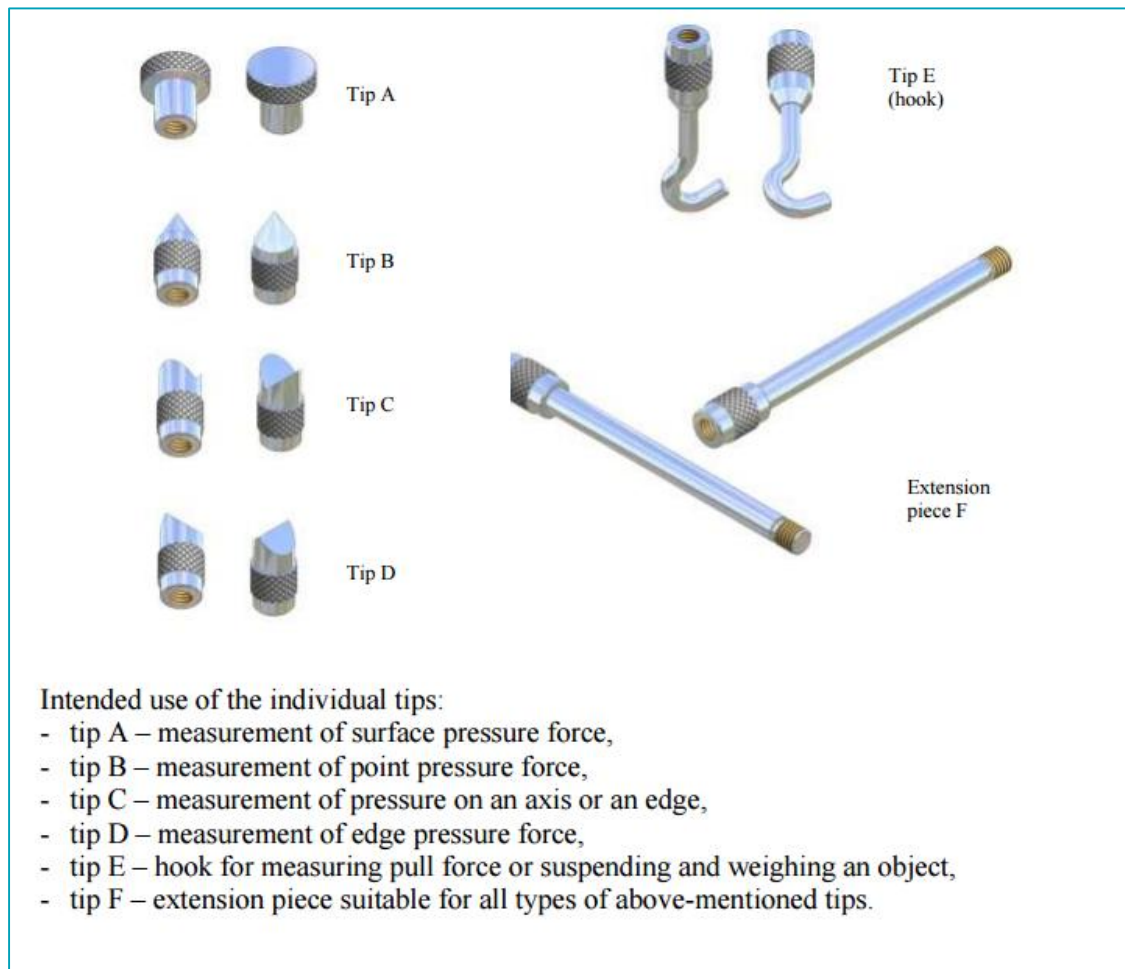
Εικόνα 20 Στροφόμετρο

2.7 Δυναμόμετρο

Το δυναμόμετρο αποτελεί το κύριο μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και το πιο σημαντικό. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να μετρήσει μέχρι 50 N και με πολύ μεγάλη ακρίβεια όπως θα φανεί πιο κάτω. Οι φοιτητές είτε μπορούν να μετρήσουν και να καταγράψουν τιμές μέσω της ψηφιακής οθόνης (περνώντας φυσικά μέσο ορό μιας και έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια) είτε να συνδέσουν το δυναμόμετρο σε υπολογιστή καθώς έχει την δυνατότητα να συνδεθεί μέσω ic ή usb. Στα πειράματά της εργασίας αυτής μετρώνται κατευθύνσεις αντίρροπες του δυναμόμετρου αλλά υπάρχει δυνατότητα να πραγματοποιηθούν

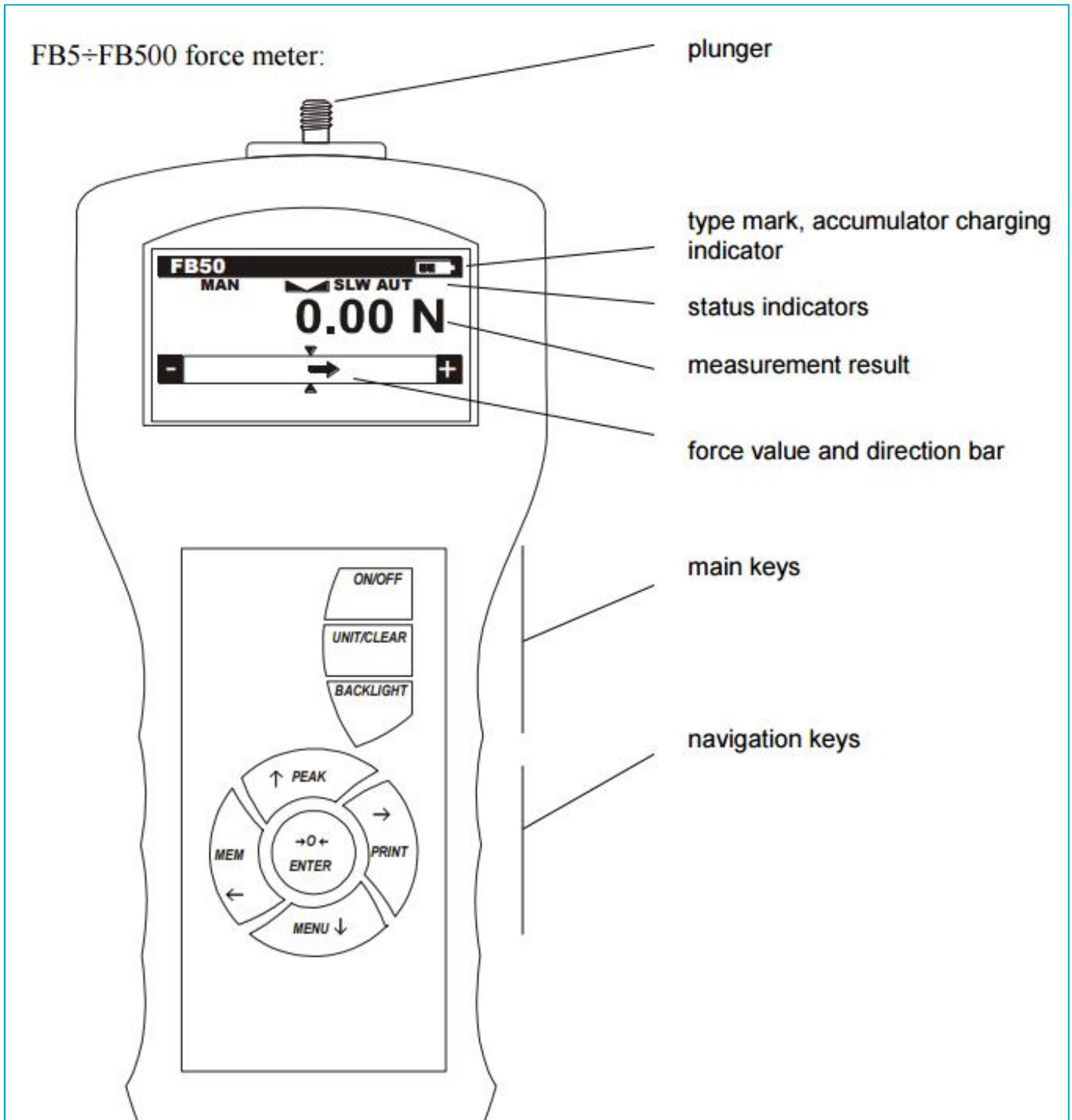
μετρήσεις και αντίστροφα. Στην πειραματική διάταξη το δυναμόμετρο έχει τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αποσπώμενο και άρα να μπορεί χρησιμοποιηθεί και για άλλες πειραματικές διατάξεις στο εργαστήριο φυσικής.

Μαζί με την πτυχιακή περιλαμβάνονται και άλλοι γάντζοι ανάλογα με τι χρειάζεται κάθε φορά. Επίσης στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε ειδική προέκταση ώστε να είναι εφικτή η ρύθμιση της απόστασης και επομένως να είναι δυνατή η μεταβολή της ακτίνας του πειράματος.



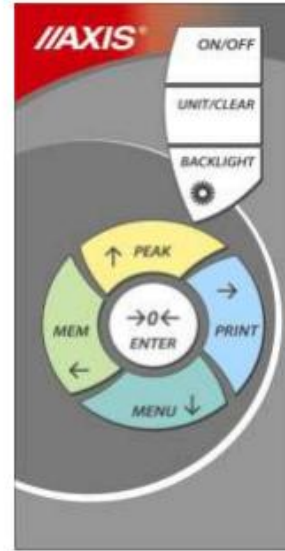
Εικόνα 21 Εξαρτήματα δυναμόμετρον [πηγή: manual]

Κύρια πλήκτρα και σημασία τους



Εικόνα 22 Σκαρίφημα συσκευής [πηγή: manual]

ON/OFF	Main keys:	
UNIT/CLEAR	- ON / OFF key (standby),	
	- Change units / cancel selection or change a parameter value,	
	- <i>Press and hold</i> – resetting of registered data,	
BACKLIGHT	- Turn on illumination (ECO mode),	
	Navigation keys:	
↑	- Move cursor up or increase the digit marked by the cursor,	
↓	- Move cursor down or decrease the digit marked by the cursor,	
→	- Move to the next menu level or display the next option,	
←	- Move to the previous menu level or display the previous option,	
ENTER	- Confirm the entered parameter or select a highlighted option.	
	Function Keys:	
MENU	- Meter function menu (diagram menu - chapter 18),	
PEAK	- Measure the maximum value,	
MEM	- Save the result to the memory, <i>press and hold</i> – save to memory menu,	
	- Longer press – when measurements are registered in memory longer press causes entering data storage choice menu,	
PRINT	- Print result (transmission via RS-232C connector).	
→0←	- Force meter indications zeroing	
	Status indicators:	
MIN/OK/MAX	- Indications below MIN; in range MIN÷MAX; above MAX	
MAN/ACQ	- Manual/automatic measurements mode	
▾ ▸/LOCK	- Indicates that the weighing result has stabilised,	
PK↑ / PK↓	- Direction of measured force,	
	-	
SLW/FST	- Slow/fast measurement mode,	
AUT	- Autozeroing on	
SD	- microSD card mounted	



Εικόνα 23 Σημαντικά πλήκτρα [πηγή:manual]

Type	FB50k	FB100k	FB150k
Maximum force measured	50kN (~5t)	100kN (~10t)	150kN (~15t)
Reading graduation (d)	10N (1kg)	20N (2kg)	50N (5kg)
Accuracy	±0,1% F.S.		
Measurement units	N, g, lb, oz, kg, kgf, lbf, ozf		
Maximum overload	20%		
Operating temperature	-10 ÷ 40°C		
Internal resolution	24 bits (16mln graduation)		
Process speed	10 or 40 measurements/s		
Internal memory capacity	1x6400 measurements		
Interface	RS-232C and USB, options: Bluetooth, WE trigger gate, WY transoptor MicroSD card slot: compatibility with SDSC (standard) cards and SDHC class 4		
Assisting software	FM (time characteristics, statistic analysis, data archiving)		
Display	LCD graphical 61x34mm		
Measurement options	Maximal value measurement, serial measurement, dynamic measurement (time diagrams)		
Power supply	Ni-Mh batteries set 1000mAh (LP703048P6H type) + supply ~230V 50Hz / 12V 1,2A		
Accumulator working time	~20h (~45h backlighting off) – Bluetooth off		
Measurement mantrel	-		
Dimensions	215x100x40mm + sensor		
Weight	350g (without batteries) + sensor weight		

Εικόνα 24 Τεχνικές προδιαγραφές δυναμόμετρον [πηγή:manual]

Type	FB5	FB10	FB20	FB50	FB200	FB500
Maximum force measured	5N (~0,5kg)	10N (~1kg)	20N (~2kg)	50N (~5kg)	200N (~20kg)	500N (~50kg)
Reading graduation (d)	0,001N	0,002N	0,005N	0,01N (1g)	0,05N (5g)	0,1N (10g)
Accuracy	±0,1% F.S.					
Measurement units	N, g, lb, oz, kg, kgf, lbf, ozf					
Maximum overload	20%					
Operating temperature	-10 ÷ 40°C					
Internal resolution	24 bits (16mln graduation)					
Process speed	10 or 40 measurements/s					
Internal memory capacity	1x6400 measurements or 1x2327 measurements+date/time on demand: 1x71936 measurements or 26157 measurements+date/time					
Interface	RS-232C and USB, options: Bluetooth, WE trigger gate, WY transoptor MicroSD card slot: compatibility with SDSC (standard) cards and SDHC class 4					
Assisting software	FM (time characteristics, statistic analysis, data archiving)					
Display	LCD graphical 61x34mm					
Measurement options	Maximal value measurement, serial measurement, dynamic measurement (time diagrams)					
Power supply	Ni-Mh batteries set 2700mAh (LP703048P6H type) + supply ~230V 50Hz / 12V 1,2A					
Accumulator working time	~20h (~45h backlighting off) – Bluetooth off					
Measurement mantrel	11mm (thread M6x8mm)					
Dimensions	215x100x40mm					
Weight	430g (without batteries)					

Type	FB1k	FB2k	FB5k	FB10k	FB20k
Maximum force measured	1kN (~100kg)	2kN (~200kg)	5kN (~500kg)	10kN (~1t)	20kN (~2t)
Reading graduation (d)	0,2N (20g)	0,5N (50g)	1N (100g)	2N (200g)	5N (500g)
Accuracy	±0,1% F.S.				
Measurement units	N, g, lb, oz, kg, kgf, lbf, ozf				
Maximum overload	20%				
Operating temperature	-10 ÷ 40°C				
Internal resolution	24 bits (16mln graduation)				
Process speed	10 or 40 measurements/s				
Internal memory capacity	1x6400 measurements or 1x2327 measurements+date/time on demand: 1x71936 measurements or 26157 measurements+date/time				
Interface	RS-232C and USB, options: Bluetooth, WE trigger gate, WY transoptor MicroSD card slot: compatibility with SDSC (standard) cards and SDHC class 4				
Assisting software	FM (time characteristics, statistic analysis, data archiving)				
Display	LCD graphical 61x34mm				
Measurement options	Maximal value measurement, serial measurement, dynamic measurement (time diagrams)				
Power supply	Ni-Mh batteries set 2700mAh (LP703048P6H type) + supply ~230V 50Hz / 12V 1,2A				
Accumulator working time	~20h (~45h backlighting off) – Bluetooth off				
Measurement mantrel	-				
Dimensions	215x100x40mm + sensor				
Weight	350g (without batteries) +sensor weight				

Εικόνα 25 Τεχνικές προδιαγραφές δυναμόμετρον [πηγή:manual]

2.8 Αμαξίδια

Τα αμαξίδια επιτρέπουν την εκτέλεση διαφορετικών πειραμάτων αλλάζοντας είτε το βάρος τους είτε την απόστασή τους από το κέντρο. Στο μπροστινό μέρος του ενός αμαξιτίου έχει προσαρτηθεί γάντζος ο οποίος συνδέεται με το μεταλλικό νήμα. Η προσάρτηση του γάντζου έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του βάρους του αμαξιτίου κάτι που λήφθηκε υπόψη έτσι ώστε το δεύτερο αμαξίδιο της διάταξης (που δεν έχει γάντζο) να είναι ίδιου ακριβώς βάρους με το πρώτο. Επειδή τα αμαξίδια ήταν δύσκολο να φτιαχτούν από την αρχή αυτά που χρησιμοποιήθηκαν τελικά στην πειραματική διάταξη προήλθαν από μηχανισμούς αλουμινένιων πορτών τα οποία τροποποιήθηκαν ως εξής: Και στα δυο αμαξίδια τοποθετήθηκε κεντρική βίδα η οποία με στροφή δεξιόστροφη σφίγγει με το διάδρομο και σταθεροποιείται. Το βήμα αυτό ήταν απαραίτητο γιατί το δεύτερο αμαξίδιο χρησιμοποιείται για αντιστάθμιση του βάρους. Έτσι όταν για παράδειγμα όταν οι φοιτητές θέλουν να μετρήσουν σε απόσταση $r = 10 \text{ cm}$ τότε πρέπει το κέντρο του πρώτου αμαξιτίου να είναι στα 10 cm από το κέντρο του διαδρόμου και αντίθετα το άλλο αμαξίδιο να είναι σε απόσταση 10 cm από την άλλη πλευρά ακινητοποιημένο εκεί με την βοήθεια της βίδας.



Εικόνα 26 Αμαξίδιο

2.8.1 Υποδοχέας βαρών

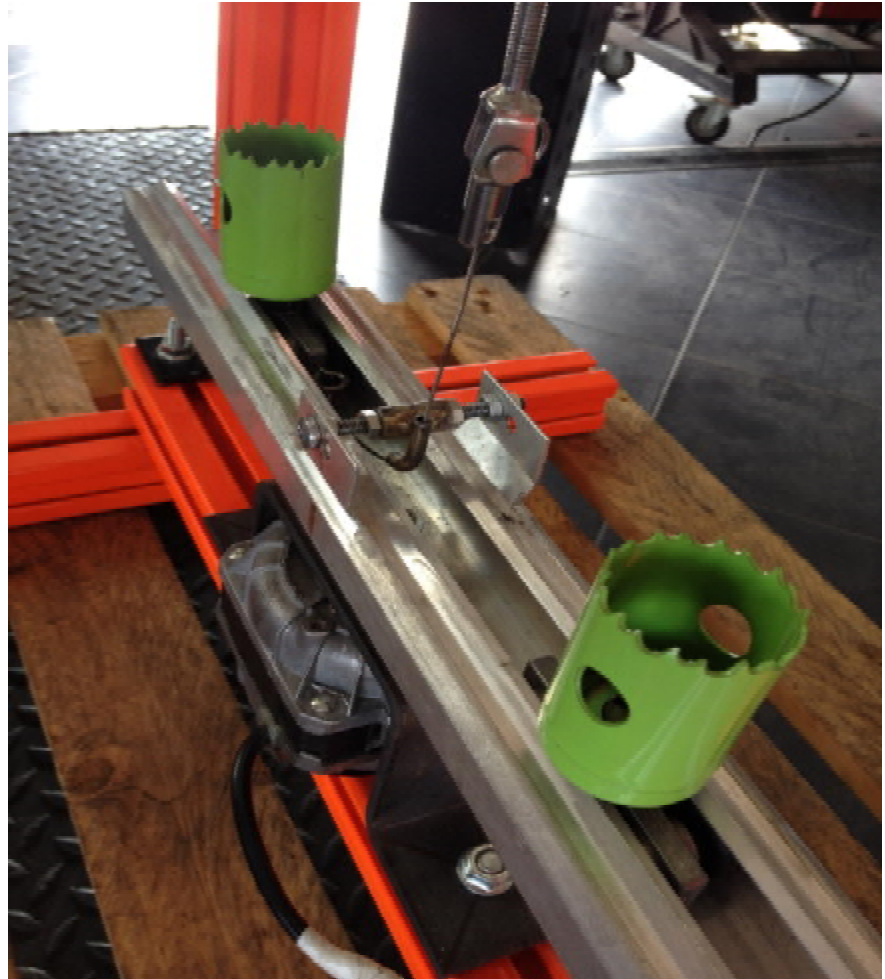
Για την εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων με διαφορετικά βάρη ήταν απαραίτητη η χρήση κατάλληλου υποδοχέα βαρών όπου θα συγκρατούνταν τα βαρίδια διαφορετικής μάζας. Για το σκοπό αυτό επιλέξαμε ποτηροτρύπανα (χρησιμοποιούνται για κόψιμο ξύλου σε κύκλο) τα οποία κοπήκαν στο πάνω μέρος για λόγους ασφάλειας και τοποθετήθηκαν με παξιμάδια και ροδέλες πάνω στα αμαξίδια. Στο εσωτερικό τους μπορούν οι φοιτητές να εφαρμόσουν διαφορετικά βαράκια ώστε να δουν πως συμπεριφέρεται η κίνηση με διαφορετικό βάρος κάθε φορά. Για να είναι σωστές οι μετρήσεις θα πρέπει προφανώς να τοποθετηθούν τα ίδια βάρη και στα 2 αμαξίδια.



Εικόνα 27 Ποτηροτρύπανο



Εικόνα 28 Συσσωμάτωμα αμαξιδίου



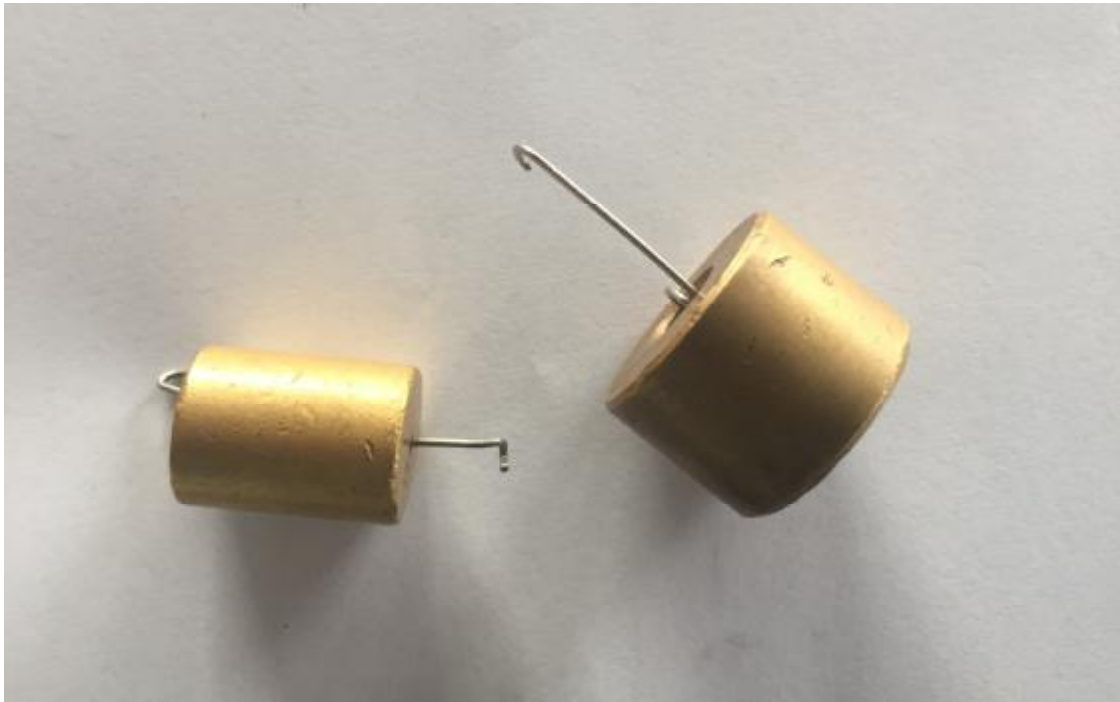
Εικόνα 29 Αμαξίδια πάνω σε διάδρομο

2.8.2 Βαρίδια

Τα βαρίδια τοποθετούνται μέσα στους υποδοχείς μόνα τους ή σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα ανάλογα το βάρος του κάθε αμαξιδίου εμφανίζεται διαφορετικό αποτέλεσμα όπως θα διαπιστώσουν οι φοιτητές. Τα βαρίδια θα πρέπει πάντα να είναι τα ίδια στα αμαξίδια. Τα βαρίδια των 50 g και 100 g υπήρχαν στο εργαστήριο Φυσικής του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος ενώ αυτά των 5 g και 10 g βρέθηκαν από κατάστημα ελαστικών όπου χρησιμοποιούνταν για τη ζυγοστάθμισή τροχών. Με τα διαφορετικά βαρίδια που περιέχονται παρέχεται η δυνατότητα στους φοιτητές να κάνουν συνδυασμούς για ότι βάρη επιθυμούν σύμφωνα πάντα με τα όρια ασφαλούς λειτουργίας της διάταξης μας.



Εικόνα 30 Βαρίδια 5g και 10g



Εικόνα 31 Βαρίδια 50g και 100g

2.9 Υπόλοιπα μέρη

Εκτός από τα παραπάνω κυρία μέρη της πειραματικής διάταξης χρειάστηκαν ακόμα και τα εξής σημαντικά μέρη:

2.9.1 Μεταλλικό νήμα

Το μεταλλικό νήμα η εύρεση του οποίου ήταν από τις πιο χρονοβόρες ενέργειες της εργασίας. Η αρχική ιδέα της χρήσης πετονιάς παρουσίαζε σημαντικά προβλήματα όπως η μεγάλη ελαστικότητα που παρουσίαζε καθώς και έλλειψη αντοχής της και φθορά της στις μεγάλες ταχύτητες (κοβόταν στις μεγάλες ταχύτητες). Επιπρόσθετα καθώς η πετονιά δεν περιστρεφόταν μαζί με το διάδρομο, το δυναμόμετρο έδινε λανθασμένες μετρήσεις. Τελικά η πετονιά αντικαταστάθηκε με συρματόσκοινο ψιλό το οποίο αποδείχθηκε ότι δουλεύει αρκετά καλά. Η μια άκρη του νήματος τοποθετήθηκε στο ένα από τα δυο αμαξίδια και η άλλη άκρη διάμεσου μεταλλικής γωνίας στο διάδρομο είναι πάνω σε μεταλλικό αντικείμενο το οποίο κινείται με ρουλεμάν (βασικό για τη διάταξη μας).

Η απόσταση ρυθμίζεται ΜΟΝΟ από τον ρυθμιστή.



Εικόνα 32 μεταλλικό νήμα

2.9.2 Ρυθμιστής απόστασης

Η πραγματοποίηση πειραμάτων με διαφορετική απόσταση απαιτεί τη χρήση μεταλλικών νημάτων διαφορετικών μηκών. Ωστόσο η αλλαγή ολόκληρου του μεταλλικού νήματος και ιδιαίτερα από φοιτητές δεν είναι εύκολη διαδικασία. Για το λόγο αυτό συμπεριλήφθηκε ένας ρυθμιστής απόστασης ο οποίος ξεβιδώνοντας κάθε φορά ΚΑΙ τα δυο παξιμάδια είναι δυνατόν να αλλάξει η απόσταση έως και 6 cm. Έτσι οι φοιτητές έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν κάθε φορά την απόσταση εύκολα και αξιόπιστα. Το μόνο που πρέπει να προσέξουν είναι ότι τα παξιμάδια έχουν αντίθετη φορά.

ΠΡΟΣΟΧΗ ΤΑ ΠΑΞΙΜΑΔΙΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΣΦΙΓΓΟΝΤΑΙ ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΚΑΛΑ ΚΑΘΩΣ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΕΣ ΣΤΡΟΦΕΣ ΝΑ ΛΥΘΟΥΝ.



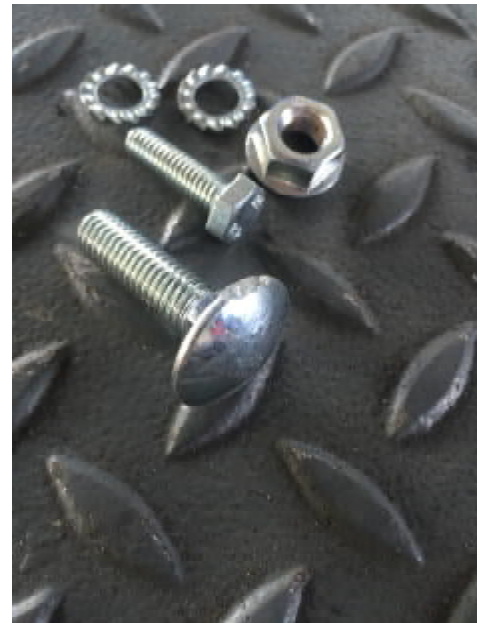
Εικόνα 33 Ρυθμιστής απόστασης

2.9.3 Βίδες –παξιμάδια –ροδέλες – τσιμούχες

Τέλος, για τη σταθερότητα αλλά και την ευκολία πιθανής μελλοντικής αποσυναρμολόγησης χρησιμοποιήθηκαν M8 βίδες με 13αρια παξιμάδια με ροδέλες και γκρόβερ. Ακόμα σε πολλά μέρη τοποθετήθηκαν τσιμούχες για τους κραδασμούς (μοτέρ-πόδια κτλ.) που υπάρχουν στις μεγάλες ταχύτητες. Ακόμα επειδή δεν υπήρχαν στο εμπόριο βίδες που να «φωλιάζουν» μέσα στο πλαίσιο αρκετές κοπήκαν στα πλαγιά με την βοήθεια τροχού ώστε να ταιριάζουν. Οι βίδες στο πλαίσιο με τη βοήθεια δυναμόμετρου συσφιχθήκαν 60N(6 KG), οι βίδες στο μοτέρ 100N(λόγο κραδασμών) και στο διάδρομο 40N(λόγο ψιλού τοιχώματος αλουμίνιου).



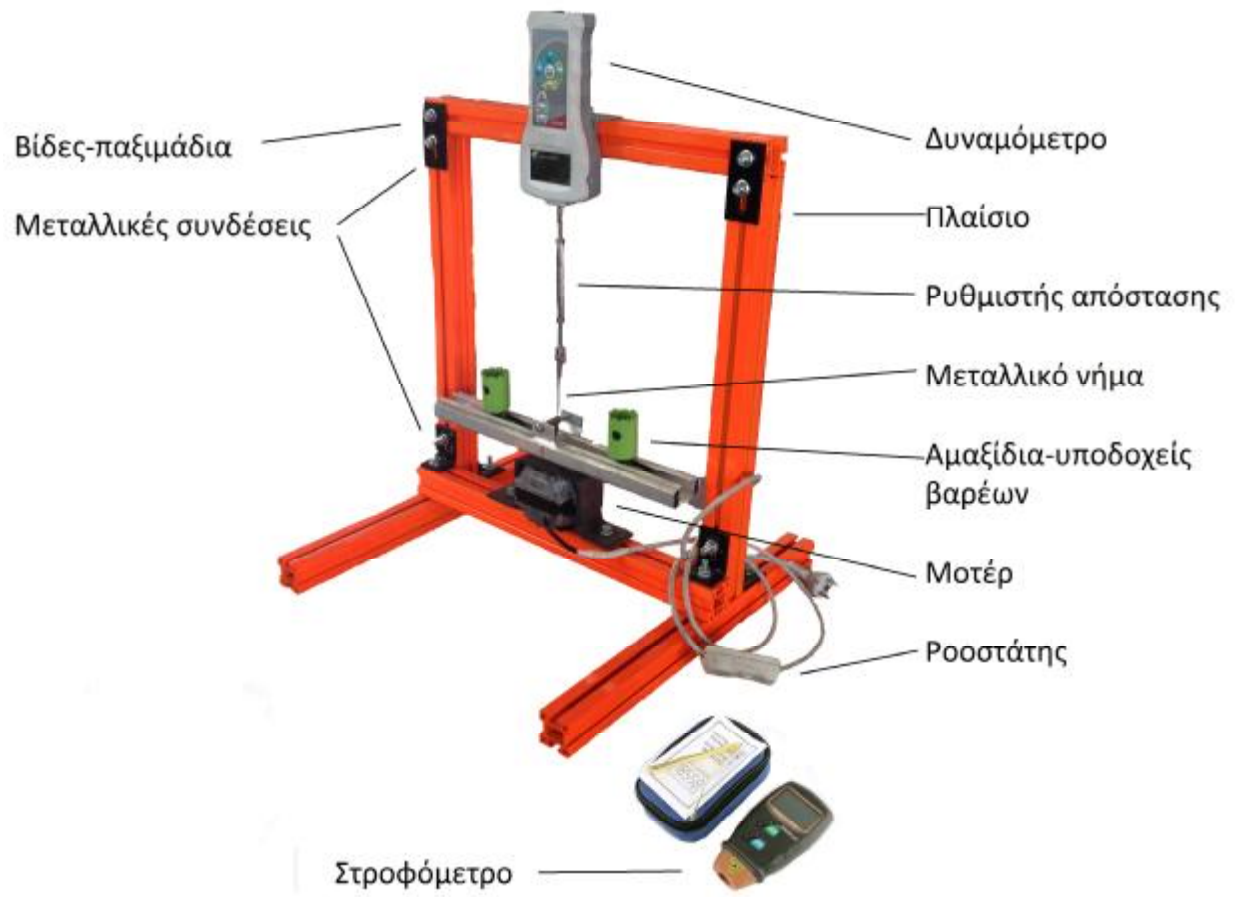
Εικόνα 34 Βίδες παξιμάδια ροδέλες



Εικόνα 35 Βίδες και παξιμάδια της συσκευής

Εικόνα 36 Βίδα κομμένη με τροχό

2.10 Πειραματική διάταξη



Εικόνα 37 Ολοκληρωμένη πειραματική διάταξη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 Πιστοποίηση: Σύγκριση F_{th} και $F_{πειρ}$

Σύμφωνα με τον τύπο $F = m\omega^2 r$

1. Για $m=185 \text{ gr}$, $r=0.12 \text{ m}$, $\omega =300 \text{ rpm}$ (ένδειξη στροφόμετρου,150 πραγματική)
 $F_{θεωρ} = 5.47 \text{ N}$ η πειραματική διάταξη είχε αποτέλεσμα 5.490 N
2. Για $m=185 \text{ gr}$, $r=0.09 \text{ m}$, $\omega =300 \text{ rpm}$ (ένδειξη στροφόμετρου,150 πραγματική)
 $F_{θεωρ} = 4.10 \text{ N}$ η πειραματική διάταξη είχε αποτέλεσμα 4.1066 N
(η καλύτερη μέτρηση που είχαμε)
3. Για $m=225 \text{ gr}$, $r=0.09 \text{ m}$, $\omega =300 \text{ rpm}$ (ένδειξη στροφόμετρου,150 πραγματική)
 $F_{θεωρ} = 4.99 \text{ N}$ η πειραματική διάταξη είχε αποτέλεσμα 4.9949 N
4. Για $m=185 \text{ gr}$, $r=0.09 \text{ cm}$, $\omega =340 \text{ rpm}$ (ένδειξη στροφόμετρου,170 πραγματική)
 $F_{θεωρ} = 5.275 \text{ N}$ η πειραματική διάταξη είχε αποτέλεσμα 5.270 N

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

α/α	$m \pm \delta m$ (gr)	$r \pm \delta r$ (m)	$\omega \pm \delta \omega$ (rpm)	$F_{πειρ}$ (N)	$F_{θεωρ}$ (N)
1	185 ± 1	0.1200 ± 0.0005	300.0 ± 0.1	5.490	5.47
2	185 ± 1	0.0900 ± 0.0005	300.0 ± 0.1	4.1066	4.10
3	225 ± 1	0.0900 ± 0.0005	300.0 ± 0.1	4.9949	4.99
4	185 ± 1	0.0900 ± 0.0005	340.0 ± 0.1	5.270	5.275

Η συγκεκριμένη πιστοποίηση έγινε για διαφορετικά ζεύγη τιμών ώστε να αποδειχτεί ότι λειτουργεί εξίσου καλά και με διαφορετικό βάρος –απόσταση –ταχύτητα. Οι τιμές ήταν οι καλύτερες που μπορούσαμε να επιτύχουμε έπειτα από πολλά πειράματα και είναι ο μέσος όρος όλων των άλλων μετρήσεων.

3.2 Όρια ασφαλών μετρήσεων

Καταλήξαμε ότι οι μετρήσεις έχουν το λιγότερο δυνατό σφάλμα (δηλαδή η πειραματική μας διάταξη είναι αξιόπιστη) για:

Μέγιστο βάρος 100 gr / αμαξίδιο

Γωνιακή ταχύτητα από 260-380

με αυτά τα όρια έχουμε αξιόπιστες μετρήσεις για όλο το εύρος του αποστάτη που είναι από **8-14 cm**

Αυτό συμβαίνει γιατί αν πάρουμε αρχικά τη γωνιακή ταχύτητα σαν παράμετρο και αυτή είναι κάτω από 260 rpm τότε λόγω του ροοστάτη το ρεύμα δεν είναι σταθερό και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες αυξομειώσεις στο διάδρομο. Συνεπώς η δύναμη στο δυναμόμετρο έχει πολύ μεγάλες αποκλίσεις. Αντίθετα αν υπερβούμε τα 360 rpm τότε ανάλογα την παραπάνω ταχύτητα λόγω των μεγάλων τριβών που υπάρχουν στα πολλά μεταλλικά μέρη η δύναμη αυξάνεται αρκετά. Με μέγιστο βάρος 100 gr και ταχύτητα 650 rpm (ένδειξη στροφόμετρου) έχουμε μια διαφορά 3 N. Η μάζα των βαριδιών από την άλλη δεν επηρεάζει τόσο πολύ τις μετρήσεις απλά αν προσθέσουμε επιπλέον μάζα υπάρχει περίπτωση να χαλάσει η ζυγοστάθμιση του διαδρόμου αλλά και να καταστραφεί το μοτέρ μας.

3.3 Πειραματική διαδικασία

Για να ξεκινήσουμε τα πείραμα μας αρχικά πρέπει σύμφωνα και με το θεωρητικό υπόβαθρο μας να γνωρίζουμε τα παρακάτω. Δεδομένου ενός συστήματος συντεταγμένων, μπορούμε σε κάθε σημείο (x,y) του δισδιάστατου χώρου να ορίσουμε το λεγόμενο *διάνυσμα θέσης*, \mathbf{r} , το οποίο σε πολικές συντεταγμένες (r,θ) αναπαρίσταται από το διάνυσμα:

$$\mathbf{r} = r\hat{\mathbf{r}} \quad (22)$$

όπου r η απόσταση ενός τυχαίου σημείου από την αρχή των αξόνων του επιλεγμένου συστήματος αναφοράς. Δεδομένου ότι οι παράγωγοι των μοναδιαίων διανυσμάτων που ορίζουν το πολικό σύστημα συντεταγμένων ως προς τη μεταβλητή θ είναι:

$$\frac{d\hat{\mathbf{r}}}{d\theta} = \hat{\boldsymbol{\theta}}, \quad \frac{d\hat{\boldsymbol{\theta}}}{d\theta} = -\hat{\mathbf{r}} \quad (23)$$

μπορούμε να αναπαραστήσουμε διανυσματικά τόσο την ταχύτητα, όσο και την επιτάχυνση ενός σώματος που κινείται σε τροχιά η οποία περιγράφεται από ένα χρονικά μεταβαλλόμενο διάνυσμα θέσης $\mathbf{r}(t)$ σε πολικές συντεταγμένες. Συγκεκριμένα,

$$\mathbf{v} = \dot{r}\hat{\mathbf{r}} + r\dot{\theta}\hat{\boldsymbol{\theta}} \quad (24)$$

$$\mathbf{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{\mathbf{r}} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\boldsymbol{\theta}} \quad (25)$$

όπου η τελεία αναφέρεται σε παραγωγή ως προς το χρόνο. Στην περίπτωση της ομαλής κυκλικής κίνησης, τόσο η απόσταση r όσο και η γωνιακή ταχύτητα $d\theta/dt$ είναι σταθερές ποσότητες και ίσες με R (η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς) και ω (η γωνιακή ταχύτητα) αντίστοιχα. Συνεπώς,

$$\mathbf{v} = \omega R\hat{\boldsymbol{\theta}} \quad (26)$$

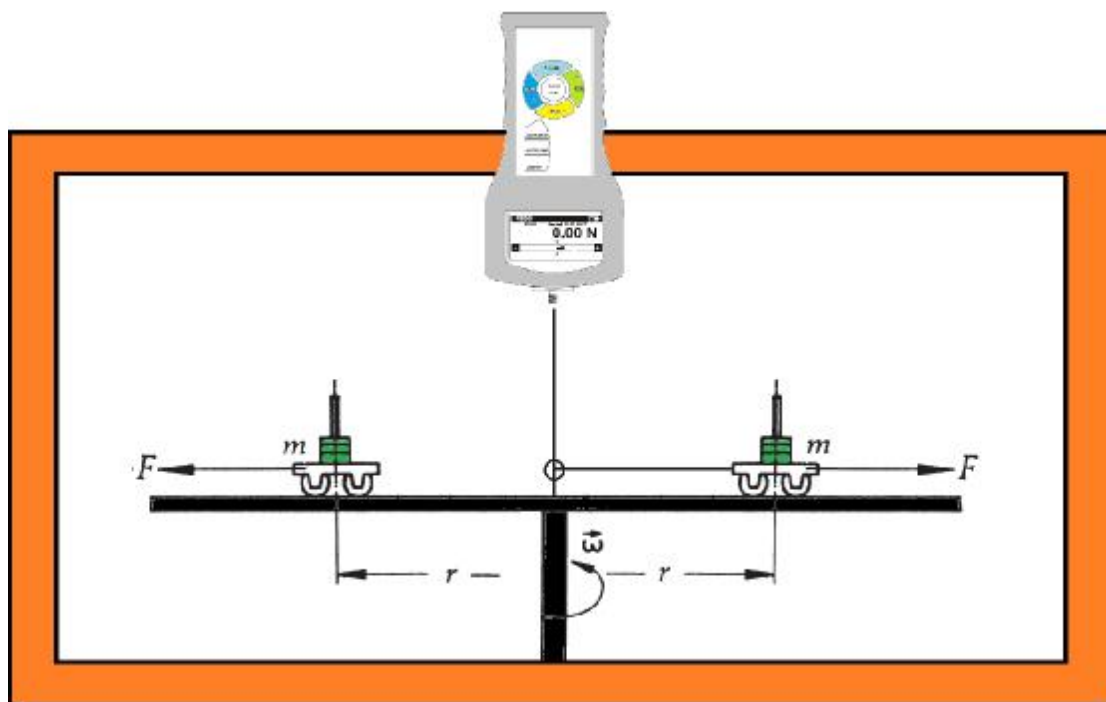
$$\alpha = -\omega^2 R \hat{r} \quad (27)$$

Το διάνυσμα της ταχύτητας έχει λοιπόν μόνο εφαπτομενική συνιστώσα, ενώ αντίστοιχα η επιτάχυνση έχει μόνο ακτινική συνιστώσα με διεύθυνση προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς και μέτρο που εξαρτάται τόσο από την ακτίνα, όσο και από την γωνιακή ταχύτητα [3,5].

Η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται σε σωματίδιο που εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, βάσει του 2ου Νόμου του Νεύτωνα, θα είναι λοιπόν

$$F_{\kappa} = ma_{\kappa} = -m\omega^2 R \hat{r} = -\frac{mv^2}{R} \hat{r} \quad (28)$$

όπου m, v, r, ω είναι όπως φαίνεται και παρακάτω στο σχήμα:



Εικόνα 38: Σκαρίφημα πειραματικής συσκευής

Χρήση στροφόμετρου

Για την ορθή χρήση του στροφόμετρου τόσο για θέματα αποτελέσματος αλλά και σφάλματος είναι σημαντικό να κάνουμε τα εξής βήματα:

1. Αρχικά στρέφουμε το λείζερ πάνω στο διάδρομο (κάθετα)
2. Σημειώνουμε την ένδειξη από την ψηφιακή οθόνη
3. Διαιρούμε τις στροφές δια 2 (ο διάδρομος περνάει διπλάσιες φορές το λεπτό από το στροφόμετρο)
4. Η μέτρηση που καταγράψαμε είναι σε Rpm οπότε για να το μετατρέψουμε σε rad/sec ώστε να έχουμε μετρήσεις στο S.I και Newton πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο:

$$\omega = \frac{(2\pi Rpm)}{60} \quad (29)$$

Μέση τιμή και υπολογισμός σφάλματος μέσης τιμής

Για τον υπολογισμό ορθής μέτρησης F πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν τα σφάλματα οργάνου Έτσι για κάθε πείραμα πρέπει να υπολογιστεί μέση τιμή αρκετών μετρήσεων ώστε να έχουμε ένα ορθό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα για σταθερή μάζα $m=185 \text{ gr}$ και ακτίνα $r=0.09 \text{ m}$ πήραμε τις εξής μετρήσεις:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

a/a	Μέτρηση ($x \pm \delta x$)	$\omega \pm \delta\omega$	$\omega \pm \delta\omega$	$\bar{\omega}$	$(\bar{\omega} - \omega)^2$	$\sigma_{\bar{\omega}}$	$F_{πειρ}$	$F_{θεωρ}$
	(rpm)	(rpm)	(rad/s)	(rad/s)	(rad/s) ²	(rad/s)	(N)	(N)
1	295±1	147.5±0.5	15.45±0.05	15.723	0.0766	0.072	3.999	3.968
2	297	148.5	15.55		0.0296		4.073	4.022
3	299	149.5	15.66		0.0045		4.097	4.077
4	300	150.0	15.71		0.0002		41.066	4.100
5	302	151.0	15.81		0.0081		4.185	4.159
6	304	152.0	15.92		0.0378		4.239	4.214
7	305	152.5	15.97		0.0609		4.262	4.242

Όπου το σφάλμα μετάδοσης της γωνιακής ταχύτητας ω , υπολογίστηκε από την τύπο: $\frac{\delta\omega}{\omega} = \left| 1 \right| \frac{\delta x}{x}$. Άρα τα σφάλματα είναι: $\delta\omega=0.5 \text{ rpm}$ και $\delta\omega=0.05236 @ 0.05 \text{ rad/s}$ με ένα σημαντικό ψηφίο.

Για τον υπολογισμό μέσης τιμής χρησιμοποιούμε το τύπο: $\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^N \omega}{N}$

Τα αποτελέσματα των ενδιάμεσων υπολογισμών καταχωρούνται στη στήλη του ω^2 του παραπάνω Πίνακα.

Τέλος πρέπει να υπολογισθεί σφάλμα μέσης τιμής που είναι

$$\sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{\omega} - \omega_i)^2}{N(N-1)}} = \sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{\frac{0.2178}{7(7-1)}} \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right) = \sqrt{\frac{0.2178}{42}} \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right) \rightarrow$$

$$\sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{0.05185} \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right) \rightarrow \sigma_{\bar{\omega}} = 0.007205 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right) = 0.007 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$$

Ακολουθώντας τους κανόνες του ορθού τρόπου γραφής το αποτέλεσμα γράφεται:

$$\bar{\omega} \pm \sigma_{\bar{\omega}} = (15.723 \pm 0.007) \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$$

Πείραμα 1^ο

Μέτρηση $F_{\text{πειρ}}$ για σταθερή μάζα m και μεταβαλλόμενη ακτίνα r

Σε αυτό το μέρος του πειράματος θα δείξουμε ότι στην ομαλή κυκλική κίνηση διατηρώντας σταθερά τα m και ω , η κεντρομόλος δύναμη είναι ανάλογη της ακτίνας r της κυκλικής τροχιάς.

1. Χωρίς να τοποθετήσουμε κανένα σώμα πάνω στη φυγοκεντρική συσκευή βάζουμε την συσκευή στο ρεύμα.
2. Επιλέγουμε σε ποιο σημείο πάνω στο διάδρομο θα ξεκινήσουμε τα πειράματα μας.
3. Μετράμε τη μάζα του $m \pm \delta m$, που για το πείραμα μας είναι (185 ± 1) gr και το τοποθετούμε στη συσκευή.
4. Συνδέουμε το σώμα με το άγκιστρο χρησιμοποιώντας το νήμα, και μετράμε την απόσταση r_1 που είναι το διάστημα ανάμεσα στο κέντρο του διαδρόμου και το κέντρο μάζας του σώματος.
5. «Κλειδώνουμε» το άλλο αμαξίδιο στην ίδια απόσταση συμμετρικά αντίθετα.
6. Ξεκινάμε τη φυγοκεντρική συσκευή και διατηρώντας την ίδια γωνιακή ταχύτητα $\omega=300$ rpm και σημειώνουμε την ένδειξη F του δυναμόμετρου.
7. Στη συνέχεια σταματάμε τη συσκευή, μετακινούμε τη μάζα σε μία νέα θέση r_2 .
8. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τουλάχιστον 7 διαφορετικές αποστάσεις r , χρησιμοποιώντας την ίδια μάζα και γωνιακή ταχύτητα.

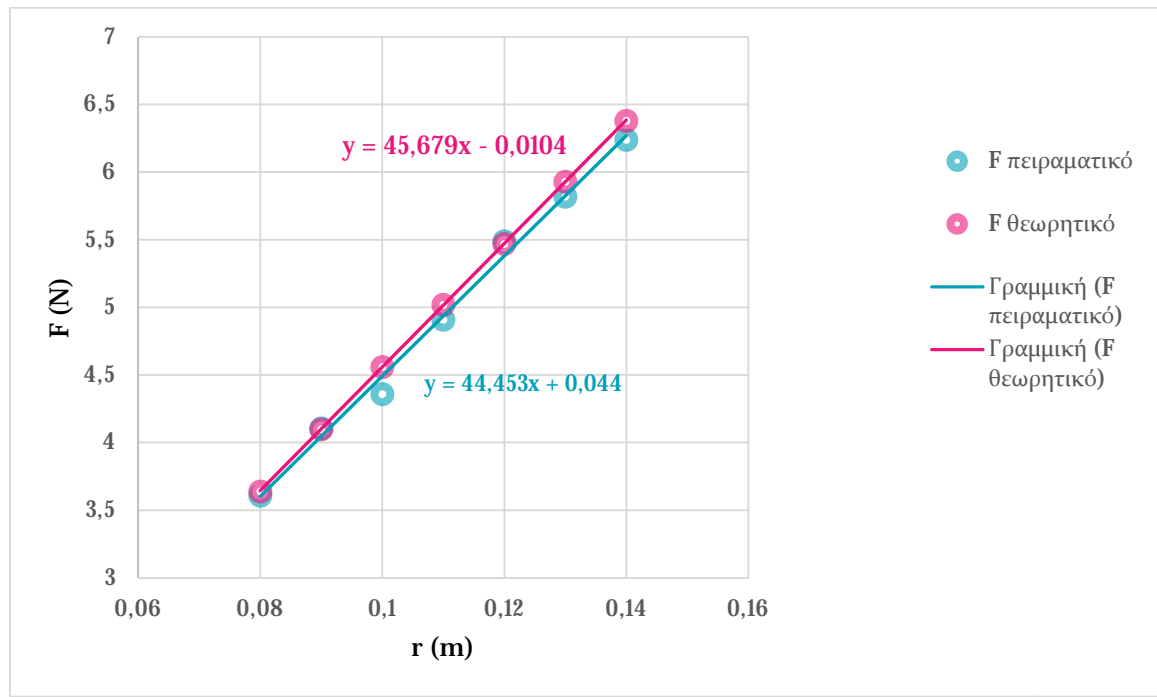
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΜΑΖΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΑ

a/a	$m \pm \delta m$ (gr)	$r \pm \delta r$ (m)	$\omega \pm \delta \omega$ (rpm)	ω (rad/s)	$F_{\text{πειρ}}$ (N)	$F_{\text{θεωρ}}$ (N)
1	185 ± 1	0.0800 ± 0.0005	300 ± 1	15.7	3.61	3.64
2	185	0.0900	300	15.7	4.11	4.10
3	185	0.1000	300	15.7	4.36	4.56
4	185	0.1100	300	15.7	4.91	5.02
5	185	0.1200	300	15.7	5.49	5.47
6	185	0.1300	300	15.7	5.82	5.93
7	185	0.1400	300	15.7	6.24	6.38

Σύμφωνα με τον τύπο $F=m\omega^2r$ ενδεικτικά για την 5^η μέτρηση έχουμε $\omega=(2\pi\text{rpm})/60=(2*3.14*150)/60=15.7$ rad/sec όπου το ω γίνεται από RPM σε rad/sec για να έχουμε τελικό αποτέλεσμα και μέσω S.I. σε N

$$\text{Άρα } F=m\omega^2r=0.185 \text{ (kg)} * (15.7)^2*0.12 \text{ (m)}=\underline{5.47 \text{ N}}$$

9. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα κάνουμε τη γραφική παράσταση της r συναρτήσε του f .
10. Στη συνέχεια προσαρμόζουμε μια ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και υπολογίζουμε την κλίση (κ).



Διάγραμμα 1: Κεντρομόλος δύναμη συναρτήσε της ακτίνας

Απόκλιση

Η απόκλιση υπολογίζεται από τη σχέση: $\text{απόκλιση (\%)} = \frac{|\alpha_{\text{θεωρ}} - \alpha_{\text{πειρ}}|}{\alpha_{\text{θεωρ}}} 100\%$

Αντικαθιστώντας όπου η θεωρητική κλίση $\alpha_{\text{θεωρ}}$ που υπολογίστηκε από ευθεία ελαχίστων τετραγώνων λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο $F = m\omega^2 r$ και σύμφωνα με την εξίσωση είναι:

$$\alpha_{\text{θεωρ}} = m\omega^2 = 45.679 \text{ Kg (rad/s)}^2.$$

Το $\alpha_{\text{πειραματικό}}$ σύμφωνα με την εξίσωση ελαχίστων τετραγώνων είναι:

$$\alpha_{\text{πειραματικό}} = 44.453 \text{ Kg (rad/s)}^2.$$

Άρα η απόκλιση θα είναι:

$$\text{απόκλιση (\%)} = \frac{|45.679 - 44.453|}{45.679} 100\% = 0.5\%$$

Πείραμα 2^ο

Μέτρηση $F_{\text{πειρ}}$ για σταθερή ακτίνα r και μεταβαλλόμενη μάζα m

Στο τμήμα αυτό του πειράματος θα δείξουμε ότι στην ομαλή κυκλική κίνηση διατηρώντας σταθερά τα r και ω , η κεντρομόλος δύναμη είναι ανάλογη της περιστρεφόμενης μάζας m .

1. Χωρίς να τοποθετήσουμε κανένα σώμα πάνω στη φυγοκεντρική συσκευή βάζουμε τη συσκευή στο ρεύμα.
2. Επιλέγουμε σε τι εύρος μαζών θα ξεκινήσουμε τα πειράματα μας.
3. Μετράμε την αρχική μάζα του σώματος $m \pm \delta m$ που χωρίς βαρίδια είναι (185 ± 1) gr και το τοποθετούμε στη συσκευή.
4. Συνδέουμε το σώμα με το άγκιστρο χρησιμοποιώντας το νήμα, και μετράμε την απόσταση r που είναι το διάστημα ανάμεσα στο κέντρο του διαδρόμου και το κέντρο μάζας του σώματος.
5. Συσφίγγουμε το άλλο αμαξίδιο στην ίδια απόσταση συμμετρικά αντίθετα.
6. Ξεκινάμε τη φυγοκεντρική συσκευή και διατηρώντας την ίδια γωνιακή ταχύτητα ω σημειώνουμε την ένδειξη F του δυναμόμετρου.
7. Στη συνέχεια σταματάμε τη συσκευή, προσθέτουμε μια διαφορετική μάζα και στα 2 αμαξίδια.
8. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τουλάχιστον 8 διαφορετικές μάζες m , χρησιμοποιώντας την ίδια απόσταση και γωνιακή ταχύτητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΜΑΖΑ

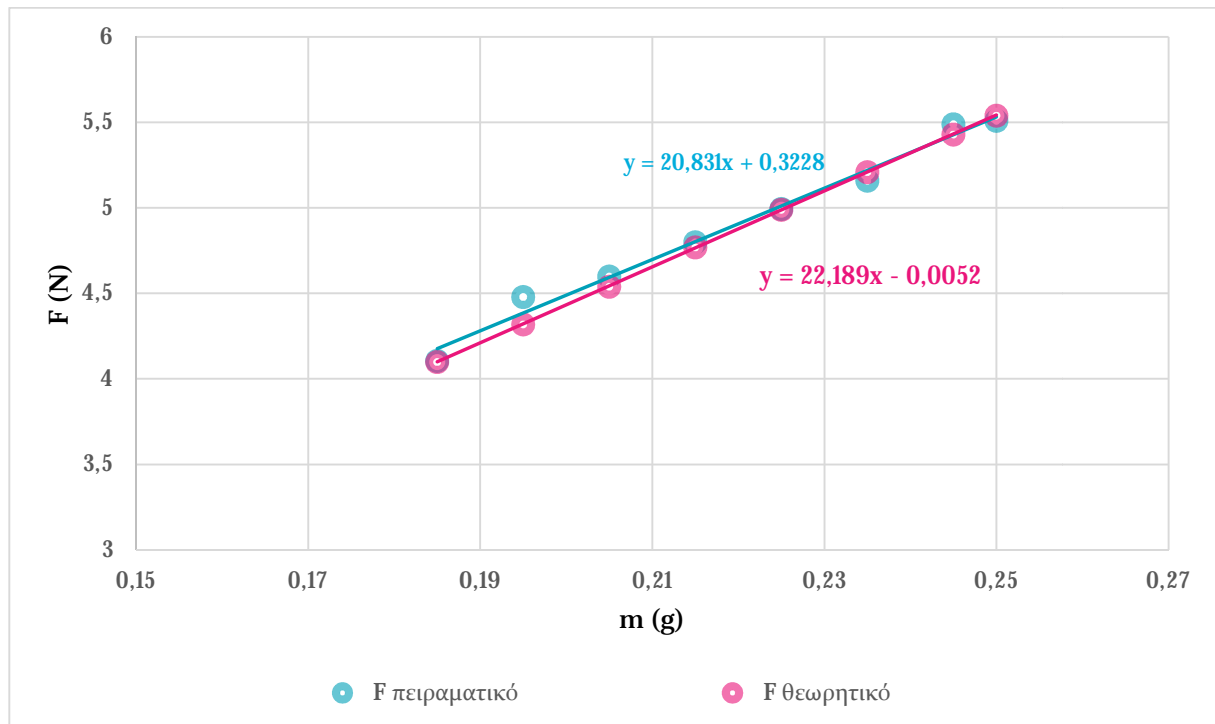
a/a	$m \pm \delta m$ (kg)	$r \pm \delta r$ (m)	$\omega \pm \delta \omega$ (rpm)	$F_{\text{πειρ}}$ (N)	$F_{\text{θεωρ}}$ (N)
1	0.185±0.001	0.0900±0.0005	300 ±1	4.11	4.10
2	0.195	0.09	300	4.48	4.32
3	0.205	0.09	300	4.60	4.54
4	0.215	0.09	300	4.80	4.77
5	0.225	0.09	300	4.99	4.99
6	0.235	0.09	300	5.16	5.21
7	0.245	0.09	300	5.49	5.43
8	0.250	0.09	300	5.51	5.54

Σύμφωνα με τον τύπο $F=m\omega^2r$ ενδεικτικά:

Για την 5^η μέτρηση έχουμε $\omega=(2\pi\text{rpm})/60=(2*3.14*150)/60=15.7$ rad/sec

Άρα $F=m\omega^2r=0.225$ (kg) * $(15.7)^2*0.09$ (m)=4.99 N

9. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα κάνουμε τη γραφική παράσταση της δύναμης F συναρτήσει του m .
10. Στη συνέχεια προσαρμόζουμε μια ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και υπολογίζουμε την κλίση (κ)



Διάγραμμα 2: Κεντρομόλος δύναμη συναρτήσει της μάζας

Απόκλιση

Η απόκλιση υπολογίζεται από τη σχέση: $\text{απόκλιση (\%)} = \frac{|\alpha_{\theta\epsilon\omega\rho} - \alpha_{\pi\epsilon\iota\rho}|}{\alpha_{\theta\epsilon\omega\rho}} 100\%$

Αντικαθιστώντας όπου $\alpha_{\theta\epsilon\omega\rho}$ την τιμή του α που υπολογίστηκε από τον τύπο $F = m\omega^2 r$ και σύμφωνα με την εξίσωση είναι $\alpha = \omega^2 r = 22.1841$

Το $\alpha_{\pi\epsilon\iota\rho}$ σύμφωνα με την εξίσωση ελαχίστων τετραγώνων είναι $\kappa_{\pi\epsilon\iota\rho} = 20.831$. Άρα η απόκλιση θα είναι:

$$\text{απόκλιση (\%)} = \frac{|22.189 - 20.831|}{22.189} 100\% = 6.5\%$$

Πείραμα 3ο

Μέτρηση $F_{\text{πειρ}}$ για σταθερή μάζα m και ακτίνα r και μεταβαλλόμενη ταχύτητα ω

Στο μέρος αυτό του πειράματος θα δείξουμε ότι στην ομαλή κυκλική κίνηση διατηρώντας σταθερά τα r και m , η κεντρομόλος δύναμη είναι ανάλογη του τετραγώνου της γωνιακής ταχύτητας ω με την οποία περιστρέφεται το σώμα.

1. Χωρίς να τοποθετήσουμε κανένα σώμα πάνω στη φυγοκεντρική συσκευή βάζουμε τη συσκευή στο ρεύμα.
2. Επιλέγουμε σε τι εύρος ταχυτήτων θα ξεκινήσουμε τα πειράματά μας,
3. Μετράμε την αρχική μάζα του σώματος $m \pm \delta m$, που για το πείραμα μας είναι (185 ± 1) gr και το τοποθετούμε στη συσκευή.
4. Συνδέουμε το σώμα με το άγκιστρο χρησιμοποιώντας το νήμα, και μετράμε την απόσταση r που είναι το διάστημα ανάμεσα στο κέντρο του διαδρόμου και το κέντρο μάζας του σώματος.
5. Συσφίγγουμε το άλλο αμαξίδιο στην ίδια απόσταση συμμετρικά αντίθετα
6. Ξεκινάμε τη φυγοκεντρική συσκευή και διατηρώντας την ίδια μάζα και ακτίνα σημειώνουμε την ένδειξη F του δυναμόμετρου.
7. Στη συνέχεια και ενώ κινείται ο διάδρομος αυξάνουμε σιγά σιγά την ταχύτητα του χρησιμοποιώντας το ροοστάτη.
8. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τουλάχιστον 6 διαφορετικές ταχύτητες, χρησιμοποιώντας την ίδια απόσταση και μάζα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΜΑΖΑ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

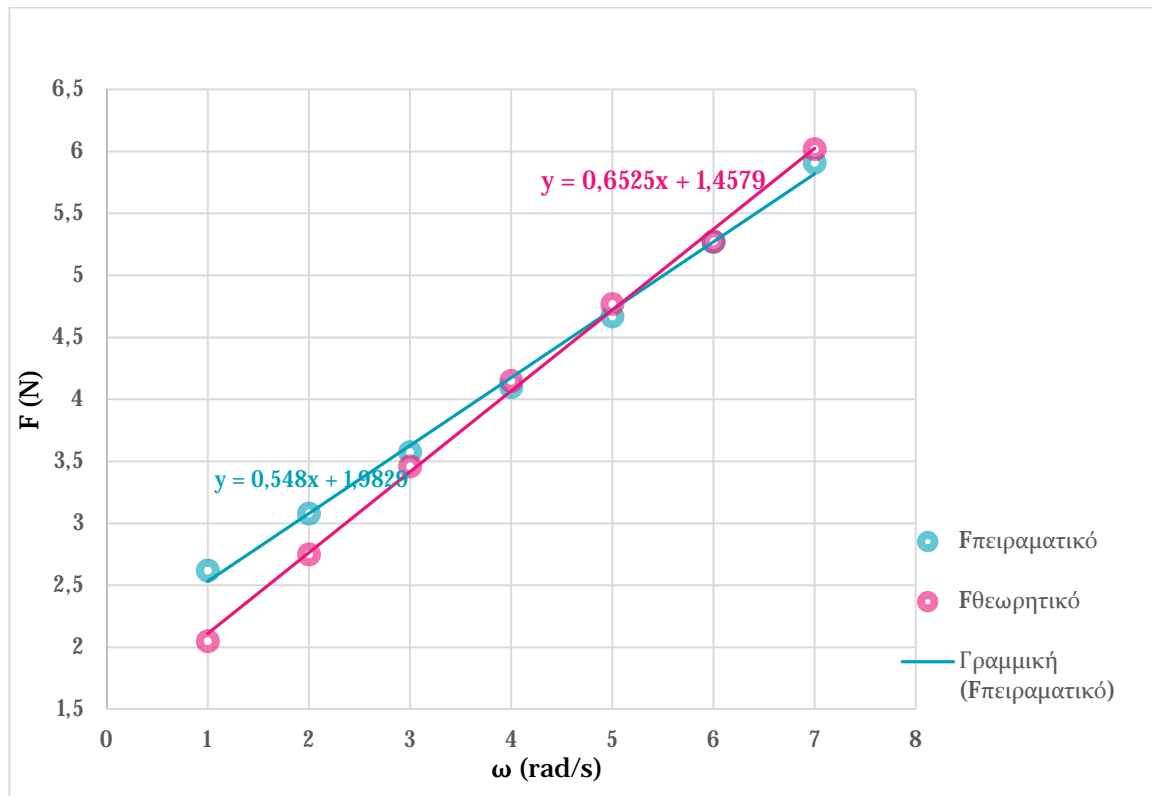
a/a	$m \pm \delta m$ (gr)	$r \pm \delta r$ (m)	$\omega \pm \delta \omega$ (rpm)	ω (rad/sec)	ω^2 (rad/s) ²	$F_{\text{πειρ}}$ (N)	$F_{\text{θεωρ}}$ (N)
1	185±1	0.0900±0.0005	240±1	12.56	157.76	2.62	2.05
2	185	0.0900	260	13.61	185.14	3.08	2.75
3	185	0.0900	280	14.65	214.72	3.575	3.46
4	185	0.0900	300	15.70	246.49	4.10	4.15
5	185	0.0900	320	16.75	280.45	4.67	4.77
6	185	0.0900	340	17.79	316.60	5.27	5.275
7	185	0.0900	360	18.84	354.95	5.91	6.02

Σύμφωνα με τον τύπο $F=m\omega^2r$ ενδεικτικά

Για την 6^η μέτρηση έχουμε $\omega = (2\pi r m) / 60 = (2 * 3.14 * 170) / 60 = 17.79 \text{ rad/sec}$

Άρα $F = m\omega^2 r = 0.185 \text{ (kg)} * (17.79)^2 * 0.09 \text{ (m)} = \underline{5.275 \text{ N}}$

- Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα κάνουμε μία γραφική παράσταση της F ως συνάρτηση του ω^2 .
- Στη συνέχεια προσαρμόζουμε μια ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και υπολογίζουμε την κλίση (κ).



Διάγραμμα 3: Κεντρομόλος δύναμη συναρτήσει της γωνιακής ταχύτητας

Απόκλιση

Η απόκλιση υπολογίζεται από τη σχέση: $\text{απόκλιση (\%)} = \frac{|\alpha_{\theta\epsilon\omega\rho} - \alpha_{\pi\epsilon\iota\rho}|}{\alpha_{\theta\epsilon\omega\rho}} 100\%$

Αντικαθιστώντας όπου $\alpha_{\theta\epsilon\omega\rho}$ την τιμή του α που υπολογίστηκε από τον τύπο $F = m\omega^2 r$ όπου σύμφωνα με το διάγραμμα μας είναι $\alpha = mr = 0.0178$. Τέλος, σύμφωνα με την κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων είναι $\alpha_{\pi\epsilon\iota\rho} = 0.016$. Άρα είναι απόκλιση είναι:

$$\text{απόκλιση (\%)} = \frac{|0.6525 - 0.548|}{0.6525} 100\% = 16\%$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

4.1 Προβλήματα

Πριν αναφέρουμε τα συμπεράσματα είναι σημαντικό να περιγράψουμε τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε κατά τη διάρκεια κατασκευής της πειραματικής συσκευής τα οποία με αρκετή επιμονή αλλά και υπομονή καταφέραμε να ξεπεράσουμε ώστε να φτάσουμε στην υλοποίηση της. Προβλήματα αντιμετωπίσαμε στα εξαρτήματα (στο κεφάλαιο του εξοπλισμού έχουμε αναφερθεί σε μερικά από αυτά), επίσης δυσκολίες παρουσιάστηκαν όταν χρειαστήκαμε τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό αλλά και από άποψη τεχνογνωσίας σε αρκετά σημεία χρειαστήκαμε βοήθεια. Αναλυτικότερα θέμα παρουσιάστηκε με τη ζυγοστάθμιση του διαδρόμου, εκεί έπρεπε να εστιάσουμε διότι σε αντίθετη περίπτωση θα είχαμε αρκετές απώλειες στα αποτελέσματά μας. Το νήμα ήταν ένα επίσης σημείο που μας δυσκόλεψε αρκετά διότι μέχρι να καταλήξουμε στο υλικό που χρησιμοποιήσαμε τελικά, δοκιμάσαμε αρκετά. Αυτό συνέβη γιατί όταν γύριζε ο διάδρομος με μεγάλη ταχύτητα το νήμα δεν την ακολουθούσε και είτε σε πολλές περιπτώσεις κοβόταν είτε αν το νήμα ήταν μεταλλικό είχαμε λάθος μετρήσεις. Άλλο ένα πρόβλημα που συναντήσαμε ήταν η δυσκολία στην ευθυγράμμιση της όλης κατασκευής μας μιας και έπρεπε να είναι πλήρως ευθυγραμμισμένο και δυναμόμετρο – κέντρο διαδρόμου - νήμα- μοτέρ έπρεπε να είναι κατακόρυφα στον ίδιο άξονα. Ένα ακόμα πρόβλημα ήταν με το ροοστάτη καθώς στις χαμηλές ταχύτητες δε δίνει σταθερό ρεύμα(αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι αναξιόπιστο το μηχάνημα και με μεγάλο σφάλμα σε αυτές τις στροφές. Επίσης δύσκολο ήταν να βρεθούν τα αμαξίδια για να ταιριάζουν στο διάδρομο και να ολισθαίνουν καλά ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες τριβές.

Τώρα που αναφέραμε τα προβλήματα μπορούμε εύκολα να προτείνουμε βελτιώσεις τόσο για ευκολία αλλά και καλύτερα αποτελέσματα.

4.2 Προτάσεις βελτιώσεις

Αρχικά μια σημαντική βελτίωση είναι να μπει άλλο μοτέρ 12 V ώστε να έχουμε καλύτερες μετρήσεις στις χαμηλές στροφές. Αυτό γίνεται εύκολα μιας και ο ροοστάτης μας αν συνδεθεί με αυτόν μπορεί εύκολα να καλύψει αυτό το κενό. Μια άλλη σημαντική βελτίωση θα ήταν αντί για τη γωνιά που περνάει το νήμα από το αμαξίδιο στο δυναμόμετρο να μπει κάποιο ρουλεμάν ώστε να εξαλείψει τις τριβές. Εμείς μέσα στη γωνιά τοποθετήσαμε λιπαντικό αλλά το ρουλεμάν θα έκανε καλύτερα τελικώς. Μια άλλη βελτίωση θα ήταν να μπουν βάσεις που ρυθμίζουν το ύψος σε κάθε γωνιά της κατασκευής. Με αυτό τον τρόπο θα γινόταν πιο εύκολα η ευθυγράμμιση της κατασκευής ανάλογα με την επιφάνεια αλλά και θα έδινε σταθερότερα στο σύστημα. Μια άλλη βελτίωση θα ήταν να χρησιμοποιηθεί tablet μαζί με το δυναμόμετρο για να μην χρειάζεται laptop στην πειραματική συσκευή. Έτσι θα εξοικονομούσαμε χρόνο και χρήμα. Τέλος, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε άλλο υλικό στο διάδρομο αντί για αλουμίνιο έτσι ώστε να είναι πιο στιβαρό και σταθερό για να προσθέταμε επιπλέον βάρος στα αμαξίδια και να μην φοβόμαστε για τυχόν αστοχία.

4.3 Συμπεράσματα

Τα τελικά συμπεράσματα που εξάγαμε από την πειραματική μας διάταξη είναι ότι σύμφωνα με τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε τα σφάλματα ήταν πολύ μικρά σε σχέση με τις θεωρητικές μετρήσεις. Αυτό δείχνει το ποσό καλά καταφέραμε να ευθυγραμμίσουμε τη συσκευή μας αλλά και την πλήρη ζυγοστάθμιση του διαδρόμου μας. Επίσης καταφέραμε να έρθουμε πολύ κοντά σε αυτές παρόλο που είχαμε αρκετά μηχανικά μέρη που συνδέονταν μεταξύ τους και ως αποτέλεσμα αναπτύσσουν μεγάλες τριβές.

Συγκεκριμένα η πειραματική μας συσκευή λειτουργεί με μεγάλη ακρίβεια ως προς τα βάρη αλλά και την απόσταση αμαξίδιου - κέντρου αλλά όχι για την μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτή τη μέτρηση και έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα σφάλματα. Επιπρόσθετα ο ροοστάτης όπως προανέφερα δεν είναι πολύ σταθερός ως προς το ρεύμα που παρέχει στο μοτέρ αυξάνοντας το σφάλμα που ήδη προϋπάρχει. Τέλος οι φοιτητές θα έχουν την ευκαιρία να κάνουν τα πειράματα με αρκετά μεγάλη ακρίβεια όταν αλλάζει μάζα –απόσταση, αλλά όταν η συσκευή έχει ως σκοπό την μέτρηση γωνιακής ταχύτητας συνιστούμε να χρησιμοποιήσουν μέση τιμή όπως έγινε και στα δικά μας πειράματα.

Βιβλιογραφία

1. Φυσική γενικής παιδείας α. τάξης ενιαίου λυκείου, Ο.Ε.Δ.Β., έκδοση Β' 2001
2. Φυσική γενικής παιδείας α. τάξης ενιαίου λυκείου, Ο.Ε.Δ.Β., έκδοση Α' 2011
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_force
4. Serway R. A. & Jewett J.W., Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς, 8η Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
5. Centrifugal force of an orbiting body - Measuring with the centrifugal force apparatus (LD Didactic P1.4.3.1)
6. Centrifugal force apparatus (Leybold Didactic 347 22)
7. Cornelius Lanczos (1986). The Variational Principles of Mechanics (Reprint of Fourth Edition of 1970 ed.). Dover Publications. Chapter 4, §5. ISBN 0-486-65067-7.
8. Σημειώσεις εργαστηρίου Φυσικής Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος.
9. www.neodynamiki.gr/analosima_ylika_ammobolis.php
10. www.atem-oe.gr
11. http://tccc.iesl.forth.gr/education/local/Physics_I/Chapter10_gr.pdf

12. http://www.sppcinc.com/powder_coating
13. http://hmathia14.ekped.gr/praktika14/VolC/VolC_217_226.pdf
14. www.centurycontrol.gr