



Α.Τ.Ε.Ι Πάτρας
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.

Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος πτυχιακής

**«ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ
ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΛΕΙΟ ΔΙΑΔΡΟΜΟ,
ΑΜΑΞΙΔΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ (Π.Χ.
ΦΩΤΟΠΥΛΕΣ) ΓΙΑ ΕΝΤΑΞΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ»**



Βασίλης Θανάσης
Πολίτης Ιωάννης

Επιβλέπων Καθηγητής
Καλαράκης Αλέξανδρος
Πάτρα 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από την μέχρι τώρα πορεία μας σε αίθουσες και εργαστήρια του ΤΕΙ και μιλώντας με καθηγητές για τον εξοπλισμό των εργαστηρίων και τις μεθόδους διδασκαλίας, αντιληφθήκαμε πως ένα βασικό κομμάτι της εκπαίδευσης στο τμήμα αποτελούν τα πολλά εργαστήρια και τα πειράματα. Στα περισσότερα από τα εργαστήρια που συναντήσαμε στην φοιτητική μας πορεία συχνά οι συσκευές για την εκτέλεση των πειραμάτων ήταν παλιές και αρκετές φορές δυσλειτουργικές χωρίς να ανταποκρίνονται και στην νέα διδαχθείσα ύλη. Οι υπεύθυνοι των εργαστηρίων είτε είχαν επισκευάσει τις πειραματικές διατάξεις, είτε είχαν αναθέσει την κατασκευή νέων συσκευών σε παλαιότερους συναδέλφους μας οι οποίες είχαν αποτελέσει αντικείμενο πτυχιακών εργασιών.

Έτσι σκεφτήκαμε να κατασκευάσουμε μια αντίστοιχη δικιά μας πειραματική συσκευή προσφέροντας όσο μπορούμε και εμείς στην εκπαιδευτική διαδικασία. Η απόφαση ήταν σχετικά εύκολη καθώς σε μια τυχαία συζήτηση με τον κ. Καλαράκη μας ανέφερε ότι μια βασική έλλειψη του εργαστηρίου Ειδικών Μαθημάτων Φυσικής ήταν η δημιουργία μιας πειραματικής διάταξης η οποία να μπορεί να επαληθεύει νόμους της φυσικής, όπως η διατήρηση της μηχανικής ενέργειας και η διατήρηση της ορμής. Συγκεκριμένα μια τέτοια διάταξη θα έπρεπε να περιλαμβάνει λείο διάδρομο στον οποίο να μπορούν να κινούνται και να συγκρούονται αμαξίδια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό την επαλήθευση νόμων της φυσικής που αφορούν την μηχανική ενέργεια και την ορμή, δύο βασικές έννοιες οι οποίες μας απασχολούν από τα μαθητικά έως και τα φοιτητικά μας χρόνια. Στο πλαίσιο αυτό αναλύουμε πρώτον βασικές έννοιες όπως ο χρόνος, η μάζα, η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Κατά δεύτερον αναφέρουμε τις μορφές ενέργειας που αφορούν το πείραμα, πιο συγκεκριμένα αναλύσαμε ότι έχει να κάνει με το έργο και την ενέργεια καθώς επίσης εμβαθύναμε στους ορισμούς της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας και τέλος εξηγήσαμε την έννοια των διατηρητικών δυνάμεων και πως αυτές σχετίζονται με την διατήρηση της μηχανικής ενέργειας. Κινούμενοι στο ίδιο πλαίσιο της θεωρίας συμπεριλάβαμε επίσης τα σχετικά κομμάτια που αναφέρονται στην γραμμική ορμή, την διατήρηση αυτής και τις κρούσεις. Στην συνέχεια περιγράφουμε τις διαδικασίες που σχετίζονται με την δημιουργία της πειραματικής διάταξης σε όλες τις φάσεις κατασκευής της, μιλώντας αναλυτικά για κάθε τμήμα που την αποτελεί, όπως ο διάδρομος, η βάση, οι ντίζες, η σύνδεση διαδρόμου ντιζών, η ενίσχυση των αδυναμιών που εμφανίστηκαν και οι συμπληρώσεις για την σωστή λειτουργία παραθέτοντας αντίστοιχες παραγράφους και φωτογραφικό υλικό που εξηγούν και περιγράφουν με κάθε λεπτομέρεια την πορεία κατασκευής. Τέλος η εργασία ολοκληρώνεται με την ανάπτυξη σχετικών πειραμάτων, για την επαλήθευση του νόμου της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας και του νόμου της διατήρησης της ορμής κάνοντας χρήση των κατασκευασμένων από εμάς τμημάτων και ηλεκτρονικών συσκευών και εξαρτημάτων τα οποία προμηθευτήκαμε από το εμπόριο.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους ήταν δίπλα μας κατά την διάρκεια της εκπόνησης της. Η δημιουργία της παρούσας πτυχιακής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την παρουσία του επιβλέποντος καθηγητή κ. Αλέξανδρο Καλαράκη. Θα θέλαμε να τον ευχαριστήσουμε τόσο για την πνευματική όσο και για την ηθική στήριξη και καθοδήγηση, που αμέριστα, μας παρείχε σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας. Βαρύνουσας σημασίας ήταν επίσης και η προσφορά του καθηγητή κ. Σωτήριου Τσίρκα στην κατασκευή της πειραματικής διάταξης και για την τεχνική υποστήριξη που μας παρείχε, καθώς επίσης του κ. Χρήστου Λιαπόπουλου και τον μηχανουργό του ΤΕΙ κ. Κώστα Αθανασόπουλο για την κατασκευή της ξύλινης βάσης. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρεία στην οποία πραγματοποιούμε την πρακτική μας άσκηση για την παροχή όλων των μηχανημάτων και εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας και συγκεκριμένα το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ για την οικονομική υποστήριξη του στην αγορά των απαραίτητων εξαρτημάτων για την υλοποίηση της πτυχιακής, καθώς και την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τις εργαστηριακές εγκαταστάσεις για την κατασκευαστική υλοποίηση της πειραματικής διάταξης. Τέλος δεν θα μπορούσαμε να μην ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που μας στήριξαν σε όλα τα χρόνια των σπουδών μας, αλλά και τους φίλους μας για την πηγαία συμπαράσταση και την υπομονή τους.

Περιεχόμενα

1.1 Βασικοί ορισμοί	1
Κεφάλαιο 2.....	4
2. Έργο και ενέργεια	4
2.1 Έργο και κινητική ενέργεια.....	4
2.2. Συντηρητικές δυνάμεις.....	5
2.3. Διατήρηση μηχανικής ενέργειας.....	6
Κεφάλαιο 3.....	8
3. Γραμμική ορμή και κρούσεις.....	8
3.1. Γραμμική ορμή και ώθηση.....	8
3.2. Κρούσεις	9
3.3. Μη ελαστική κρούση	10
3.4. Ελαστική κρούση	11
3.5. Ιδιότητες ελαστικής και μη ελαστικής κρούσης	11
3.6. Κρούσεις σε μια διάσταση	11
3.7. Τελείως μη ελαστική κρούση.....	11
3.8. Ελαστικές κρούσεις.....	12
Κεφάλαιο 4.....	14
4.1. Διάδρομος	14
4.2. Βάση.....	17
4.3. Ντίζες	18
4.4. Κοιλοδοκός	21
4.5. Πέλματα σύνδεσης	23
4.6. Νεύρο	29
4.7. Ράουλο.....	33
4.8. Βάσεις φωτοπυλών.....	36
4.9. Ασφάλειες τερματισμού	42
4.10. Σύνδεση ηλεκτρονικών	44
4.11. Κοπή μεταλλικών σωλήνων για τα αμαξίδια.....	46
4.12. Λοιπά εργαλεία	47
Κεφάλαιο 5.....	50
5.1. Πείραμα 1 : Αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.....	51
5.2. Πείραμα 2 : Αρχή διατήρησης της ορμής και κρούσεις.....	57
Κεφάλαιο 6.....	65
6. Συμπεράσματα	65
7. Βιβλιογραφία.....	67

8.Παραρτήματα	68
---------------------	----

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1:Διάδρομος πειραματικής συσκευής.....	15
Εικόνα 2:Λαμαρίνα κατασκευής διαδρόμου.....	15
Εικόνα 3:Διαδικασία στραντζαρίσματος λαμαρίνας διαδρόμου.....	16
Εικόνα 4:Δοκιμή κομματιών για τον διάδρομο.....	16
Εικόνα 5:Βάση πειραματικής συσκευής.....	18
Εικόνα 6:Νίζα σύνδεσης του ράουλου.....	19
Εικόνα 7:Ντίζα στήριξης του άνω άκρου του διαδρόμου.....	19
Εικόνα 8:Ντίζα στήριξης ράουλου.....	20
Εικόνα 9:Τελειοποιημένο ράουλο και ροδέλες-περικόχλια συνδέσεων.....	21
Εικόνα 10:Κοπή και διάτρηση κοιλοδοκού.....	22
Εικόνα 11:Τελειοποιημένος και βαμμένος κοιλοδοκός.....	23
Εικόνα 12:Πέλαμα σύνδεσης διαδρόμου κοιλοδοκού.....	23
Εικόνα 13: Διάτρηση πλαϊνών διαδρόμου.....	24
Εικόνα 14: Διάτρηση πλαϊνών κοιλοδοκού.....	25
Εικόνα 15: Διάτρηση πελμάτων σύνδεσης.....	25
Εικόνα 16:Δοκιμή σύνδεσης πελμάτων-διαδρόμου.....	26
Εικόνα 17:Δοκιμή σύνδεσης πελμάτων-διαδρόμου κοιλοδοκού.....	27
Εικόνα 18:Έλεγχος σωστής λειτουργίας κοιλοδοκού.....	27
Εικόνα 19:Τελική σύνδεση κοιλοδοκού-πελμάτων-διαδρόμου.....	28
Εικόνα 20:Λαμαρίνα κατασκευής νεύρου.....	29
Εικόνα 21:Διαδικασία στραντζαρίσματος λαμαρίνας νεύρου.....	30
Εικόνα 22:Συγκόλληση νεύρου στο κάτω μέρος του διαδρόμου.....	30
Εικόνα 23:Έλεγχος επιπεδότητας διαδρόμου.....	31
Εικόνα 24:Σωλήνας ράουλου.....	33
Εικόνα 25:Λαμαρίνα ράουλου.....	34
Εικόνα 26:Τάτες ράουλου.....	35
Εικόνα 27:Σύσφιξη λαμαρίνας ράουλου πάνω στην ντίζα.....	35
Εικόνα 28:Τελική συναρμολόγηση ράουλου.....	36
Εικόνα 29:Βάση στήριξης φωτοπυλών.....	37
Εικόνα 30:Κοπή σωλήνα προέκτασης για την στήριξη των φωτοπυλών.....	38
Εικόνα 31:Διατρηση σωλήνα προέκτασης για την στήριξη των φωτοπυλών.....	38
Εικόνα 32:Δημιουργία σπειρώματος στον σωλήνα.....	39
Εικόνα 33:Συγκόλληση σωλήνα και μεταλλικής βέργας.....	40
Εικόνα 34:Έλεγχος της σωστής λειτουργίας της προέκτασης για την στήριξη των φωτοπυλών.....	41
Εικόνα 35:Τελική τοποθέτηση φωτοπύλης στην βάση στήριξης.....	42
Εικόνα 36:Ασφάλειες τερματισμού άνω και κάτω άκρου διαδρόμου.....	43
Εικόνα 37:Φωτοπύλη.....	44
Εικόνα 38:Συσκευή μέτρησης και καταγραφής των αποτελεσμάτων του χρόνου.....	45
Εικόνα 39:Υποδοχές σύνδεσης των φωτοπυλών.....	46
Εικόνα 40:Αμαξίδια και κεραίες αμαξιδίων.....	47
Εικόνα 41:Αλφάδι.....	47
Εικόνα 42:Κανονας.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1.Βασικοί ορισμοί ^[1]

Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να παραθέσουμε κάποιους ορισμούς μεγεθών της κινητικής ενέργειας, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην πορεία αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Η Δυναμική μελετά την κίνηση ενός αντικειμένου και την σχέση της κίνησης με διάφορα φυσικά μεγέθη, όπως είναι η δύναμη και η μάζα. Μπορούμε να περιγράψουμε κινήσεις χρησιμοποιώντας μόνο τις έννοιες του χώρου και του χρόνου, χωρίς να αναφερόμαστε στα αίτια της κίνησης. Αυτό το μέρος της Μηχανικής λέγεται Κινητική.

Ακόμα από την καθημερινή μας εμπειρία γνωρίζουμε ότι η λέξη κίνηση περιγράφει την συνεχή αλλαγή της θέσης ενός σώματος. Η κίνηση ενός σώματος στον χώρο μπορεί να συνοδεύεται από περιστροφές ή ταλαντώσεις αυτού.

Από τον κλάδο της Φυσικής που μελετάει την κίνηση, την κινητική, έχουν οριστεί τα ακόλουθα μεγέθη:

Χρόνος: Πριν το 1960 η μονάδα του χρόνου ορίζονταν με την χρησιμοποίηση της μέσης ηλιακής μέρας. Έτσι το μέσο ηλιακό δευτερόλεπτο, που είναι η βασική μονάδα χρόνου, είχε αρχικά οριστεί ως το $(\frac{1}{60}) (\frac{1}{60}) (\frac{1}{24})$ της μέσης ηλιακής μέρας. Το 1967, ορίστηκε εκ νέου το δευτερόλεπτο με την χρησιμοποίηση οργάνων που λέγονται ατομικά ρολόγια. Ένα δευτερόλεπτο ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται ένα άτομο καισίου 133 για να κάνει 9 192 631 770 ταλαντώσεις.

Μάζα: Μονάδα μάζας του SI είναι το χιλιόγραμμο και ορίζεται ότι ισούται με την μάζα ενός κυλίνδρου κατασκευασμένου από κράμα λευκόχρυσου-ιριδίου που φυλάσσεται στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών στην πόλη Sevres της Γαλλίας.

Μήκος: Ένα μέτρο ισούται με την απόσταση που διανύει το φως στο κενό στη διάρκεια 1/299 792 458 δευτερολέπτων.

Μέση ταχύτητα: Η κίνηση ενός σώματος είναι πλήρως γνωστή όταν η θέση του σώματος στον χώρο είναι γνωστή για κάθε χρονική στιγμή. Η (x) συνιστώσα της μέσης ταχύτητας του σώματος, (\bar{u}) , ισούται με τον λόγο της μετατόπισης, (Δx) , δια του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος (Δt)

$$\bar{u} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (1.1)$$

Στιγμιαία ταχύτητα: Ο ορισμός της ταχύτητας που υπολογίζεται σε ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα δεν αρκεί, πρέπει να ορίσουμε την ταχύτητα για μια ορισμένη χρονική στιγμή. Ονομάζουμε στιγμιαία ταχύτητα την ταχύτητα ενός σώματος σε μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή ισοδύναμα, για οποιοδήποτε σημείο της γραφικής παράστασης απόστασης-χρόνου. Η παραπάνω έννοια αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν η μέση ταχύτητα δεν είναι σταθερή.

Η στιγμιαία ταχύτητα, u , είναι ίση με το όριο του $\Delta x/\Delta t$, καθώς το Δt τείνει προς το μηδέν:

$$u \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.2)$$

Στην γλώσσα του απειροστικού λογισμού το όριο αυτό το ονομάζουμε παράγωγο του x ως προς το t , την οποία συμβολίζουμε με dx/dt :

$$u \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (1.3)$$

Επιτάχυνση: Όταν η ταχύτητα ενός σώματος μεταβάλλεται, τότε λέμε ότι το σώμα επιταχύνεται (η επιβραδύνεται).

Ορίζουμε ότι η μέση επιτάχυνση του σώματος για το χρονικό διάστημα $\Delta t = t_f - t_i$, ισούται με τον λόγο $\Delta u/\Delta t$, όπου $\Delta u = u_f - u_i$ είναι η μεταβολή της ταχύτητας στο ίδιο χρονικό διάστημα:

$$\bar{a} \equiv \frac{U_f - U_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad (1.4)$$

Η επιτάχυνση είναι διανυσματικό μέγεθος και έχει διαστάσεις μήκους διαιρεμένου δια του τετραγώνου του χρόνου, δηλαδή L/T^2 . Συνηθεις μονάδες της επιτάχυνσης είναι τα μετρά ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (m/s^2) ή τα πόδια ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (ft/s^2).

Δύναμη: Όταν ωθείτε ή όταν έλκεται ένα αντικείμενο, ασκείτε επάνω του μία δύναμη. Ασκείτε δύναμη επίσης όταν πετάμε ή κλωτσάμε μια μπάλα. Επομένως η έννοια της δύναμης συνδέεται με το αποτέλεσμα της μυϊκής δύναμης και μιας μεταβολής στην κατάσταση κίνησης του αντικειμένου.

Πρώτος νόμος του NEWTON: Ένα ακίνητο σώμα θα παραμείνει ακίνητο και ένα ισοταχώς κινούμενο αντικείμενο θα εξακολουθήσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα (δηλαδή ισοταχώς άρα και ευθύγραμμα), εκτός εάν εφαρμοστεί επάνω του μη μηδενική εξωτερική δύναμη.

Με πιο απλά λόγια μπορούμε να πούμε το ίδιο ως εξής : όταν η δύναμη πάνω σε ένα σώμα είναι μηδενική, τότε η επιτάχυνση του είναι μηδενική. Δηλαδή όταν $\Sigma F=0$, τότε $a=0$. Από τον πρώτο αυτό νόμο συμπεραίνουμε ότι ένα απομονωμένο

σώμα (δηλαδή ένα σώμα που δεν αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του) είναι ή ακίνητο ή κινείται ισοταχώς (δηλαδή με σταθερή ταχύτητα).

Δεύτερος νόμος του NEWTON: Ο πρώτος νόμος του Newton εξηγεί τι συμβαίνει σε ένα σώμα όταν η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που δρουν επάνω του είναι μηδενική. Ο δεύτερος νόμος έρχεται να δώσει την απάντηση στο ερώτημα τι συμβαίνει σε ένα σώμα όταν δρα πάνω του δύναμη που δεν είναι μηδενική.

Καταλήγουμε τελικά στον δεύτερο νόμο του Newton που αναφέρει ότι η επιτάχυνση ενός σώματος είναι ανάλογη προς τη συνολική δύναμη που δρα πάνω του και αντιστρόφως ανάλογη προς την μάζα του.

$$\Sigma F = ma \quad (1.5)$$

Τρίτος νόμος του NEWTON: Ο τρίτος νόμος του Newton λέει ότι εάν δύο σώματα αλληλεπιδρούν, τότε η δύναμη που ασκεί το σώμα 2 πάνω στο σώμα 1 έχει το ίδιο μέτρο αλλά αντίθετη κατεύθυνση από ό,τι η δύναμη που ασκεί το σώμα 1 πάνω στο σώμα 2.

$$F_{12} = -F_{21} \quad (1.6)$$

Παραδοσιακά, ονομάζουμε την δύναμη που ασκεί το σώμα 1 πάνω στο σώμα 2 δράση, ενώ την δύναμη που ασκεί το σώμα 2 πάνω στο σώμα 1 την ονομάζουμε αντίδραση. Μπορούν να αλλάξουν αμοιβαία οι ονομασίες. Η δράση είναι ίση με την αντίδραση και έχει αντίθετη κατεύθυνση. Πάντοτε όμως η δράση και η αντίδραση δρουν πάνω σε διαφορετικά σώματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Έργο και Ενέργεια

Η έννοια της ενέργειας είναι από τις πιο σημαντικές έννοιες στην φυσική και κατά επέκταση σε όλους τους κλάδους της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας. Η ενέργεια παρουσιάζεται σε διάφορες μορφές, όπως είναι η μηχανική ενέργεια, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η χημική ενέργεια, η θερμική ενέργεια και η πυρηνική ενέργεια. Οι διάφορες μορφές ενέργειας συνδέονται μεταξύ τους μέσω του νόμου, σύμφωνα με το οποίο, όταν η ενέργεια αλλάζει μορφές, η συνολική ενέργεια παραμένει σταθερή. Ακριβώς αυτός είναι ο λόγος που κάνει την έννοια της ενέργειας τόσο χρήσιμη.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε μόνο με την μηχανική ενέργεια. Θα δούμε ότι οι έννοιες του έργου και της ενέργειας μπορούν να εφαρμοστούν στην δυναμική ενός μηχανικού συστήματος χωρίς να χρησιμοποιήσουμε τους νόμους του Newton.

Αρχίζουμε με τον ορισμό της έννοιας του έργου, που αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στις έννοιες της δύναμης και της ενέργειας.

Έργο σταθερής δύναμης : Θεωρήστε ότι ένα σώμα μετατοπίζεται ευθύγραμμα κατά μήκος s υπό την δράση δύναμης \mathbf{F} , η οποία σχηματίζει γωνία θ με το s , όπως φαίνεται στο σχήμα.

Ορίζουμε ότι το έργο σταθερής δύναμης ισούται με το γινόμενο της συνιστώσας της δύναμης πάνω στην διεύθυνση της μετατόπισης επί το μετρό της μετατόπισης

Επειδή η συνιστώσα της \mathbf{F} στη διεύθυνση s είναι $F\cos\theta$, το έργο \mathbf{W} της \mathbf{F} είναι

$$W \equiv (F\cos\theta)s \quad (2.1)$$

2.1 Έργο και κινητική ενέργεια

Θεωρούμε την περίπτωση κατά την οποία μια σταθερή δύναμη F_x δρα πάνω σε ένα σώμα μάζας m το οποίο κινείται στην διεύθυνση x . Ο δεύτερος νόμος του Newton λέει ότι $F_x = ma_x$, όπου a_x είναι σταθερή, αφού η F_x είναι σταθερή. Εάν το σώμα μετατοπιστεί από το $x_i = 0$ στο $x_f = s$, τότε το έργο που παράγει η δύναμη F_x είναι

$$W = F_x s = (ma_x)s \quad (2.2)$$

Ξέρουμε όμως ότι όταν το σώμα επιταχύνεται με σταθερή επιτάχυνση, ισχύουν ο παρακάτω σχέσεις :

$$s = \frac{1}{2}(u_i + u_f)t \quad (2.3)$$

$$a_x = \frac{u_f - u_i}{t} \quad (2.4)$$

όπου u_i είναι η ταχύτητα την στιγμή $t = 0$ και u_f είναι η ταχύτητα τη στιγμή t . Θέτουμε τις εκφράσεις αυτές στην Εξίσωση (2.1) και έχουμε :

$$W = m \left(\frac{u_f - u_i}{t} \right) \frac{1}{2} m \quad (2.5)$$

Ορίζουμε ότι η κινητική ενέργεια ενός σώματος είναι ίση με το γινόμενο του μισού της μάζας επί το τετράγωνο του μέτρου της ταχύτητας του σώματος.

Δηλαδή η κινητική ενέργεια, K , ενός σώματος μάζας m το οποίο έχει μέτρο ταχύτητας u ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$K = \frac{1}{2} m u^2 \quad (2.6)$$

Η κινητική ενέργεια είναι μονόμετρο μέγεθος και έχει τις ίδιες μονάδες με το έργο. Λογουχάρη, μία μάζα 1 kg η οποία κινείται με ταχύτητα 4.0 m/s έχει κινητική ενέργεια 8 J . Μπορούμε να νοήσουμε την κινητική ενέργεια ως ενέργεια που συνδέεται με την κίνηση ενός σώματος. Για διευκόλυνση μας μπορούμε να ξαναγράψουμε την Εξίσωση (2.2) ως:

$$W = K_f - K_i = \Delta K \quad (2.7)$$

Δηλαδή το έργο που παράγει η συνισταμένη σταθερή δύναμη F καθώς μετατοπίζεται ένα σώμα ισούται με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του σώματος. Η λέξη μεταβολή εδώ σημαίνει την διαφορά της τελικής μείον την αρχική κινητική ενέργεια. Έτσι η εξίσωση (2.4) αποτελεί πολύ σημαντικό αποτέλεσμα και είναι γνωστή ως θεώρημα έργου-ενέργειας.

2.2 Συντηρητικές Δυνάμεις

Στο κεφάλαιο αυτό θα εισάγουμε μια άλλη μορφή ενέργειας, που λέγεται *δυναμική ενέργεια* και σχετίζεται με την θέση του σώματος ή με την διάταξη του σε σχέση με άλλα σώματα. Θα δούμε ότι η δυναμική ενέργεια ενός σώματος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η αποθηκευμένη ενέργεια η οποία μπορεί να παράγει έργο ή να

μετατραπεί σε κινητική ενέργεια. Η έννοια της δυναμικής ενέργειας είναι χρήσιμη μόνον όταν οι δυνάμεις που μελετούμε ανήκουν στην ειδική τάξη των λεγόμενων *διατηρητικών* (ή *συντηρητικών*) *δυνάμεων*.

Γενικά, μια δύναμη λέγεται διατηρητική εάν το έργο που παράγει η δύναμη αυτή, καθώς μετατοπίζει κάποιο σώμα από ένα σημείο σε άλλο, είναι ανεξάρτητο από την διαδρομή που ακολουθεί το σώμα ανάμεσα στα δυο σημεία.

Δηλαδή, το έργο που παράγει μια διατηρητική δύναμη εξαρτάται μόνο από τις συντεταγμένες της αρχικής και της τελικής θέσης του σώματος. Αναφερόμενοι στις αυθαίρετες (τυχαίες) διαδρομές του σχήματος μπορούμε να γράψουμε ότι

$$W_{PQ}(\text{διαδρομή 1}) = W_{PQ}(\text{διαδρομή 2})$$



Όπως είδαμε το έργο που παράγει για διατηρητική δύναμη είναι ανεξάρτητο από τη διαδρομή που ακολουθεί το σώμα και από την ταχύτητα του. Το έργο που παράγεται είναι συνάρτηση μόνο των συντεταγμένων της αρχικής και της τελικής θέσης του σώματος. Για αυτούς τους λόγους μπορούμε να ορίσουμε μια συνάρτηση των συντεταγμένων μόνο, που λέγεται *δυναμική ενέργεια* U και είναι τέτοια ώστε το έργο το οποίο παράγεται είναι ίσο με την μείωση της δυναμικής ενέργειας. Δηλαδή, το έργο που παράγει μια διατηρητική δύναμη \mathbf{F} καθώς το σώμα κινείται στον άξονα των x είναι

$$W_C = \int_{x_i}^{x_f} \mathbf{F}x \, dx = -\Delta U = U_i - U_f \quad (2.8)$$

Δηλαδή το έργο που παράγει μια διατηρητική δύναμη ισούται με το αρνητικό της μεταβολής της δυναμικής ενέργειας η οποία σχετίζεται με την δύναμη αυτή.

2.3 Διατήρηση μηχανικής ενέργειας

Όταν σε ένα σύστημα δρουν μόνο διατηρητικές δυνάμεις, όπως είναι η βαρύτητα ή οι δυνάμεις ελατηρίων, η κινητική ενέργεια που αποκτά (ή χάνει) το

σύστημα, καθώς και η σχετική απόσταση των μελών του μεταβάλλεται στον χώρο, εξισορροπείται από μια ίση απώλεια (ή πρόσκτηση) δυναμικής ενέργειας. Αυτός είναι ο γνωστός νόμος διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Ένας πιο γενικός νόμος διατήρησης ισχύει για απομονωμένα συστήματα, όταν λαμβάνονται υπ' όψιν όλες οι μορφές ενέργειας και οι μεταβολές της.

Υποθέτουμε λοιπόν ότι ένα σώμα κινείται πάνω σε έναν άξονα x υπό την επίδραση μιας διατηρητικής δύναμης F_x . Εάν αυτή είναι η μόνη δύναμη που δρα πάνω στο σώμα, τότε, σύμφωνα με το θεώρημα έργου ενέργειας, το έργο που παράγει η δύναμη αυτή είναι ίσο με την μεταβολή στην κινητική ενέργεια του σώματος:

$$W_c = \Delta K \quad (2.9)$$

Επειδή όμως η δύναμη είναι διατηρητική, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Εξίσωση (2.5) και να γράψουμε $W_c = -\Delta U$. Επομένως :

$$\Delta K = -\Delta U \quad (2.10)$$

$$\Delta K + \Delta U = \Delta(K + U) = 0 \quad (2.11)$$

Αυτός είναι ο νόμος διατήρησης της μηχανικής ενέργειας, το οποίο μπορούμε να εκφράσουμε και με την μορφή :

$$K_i + U_i = K_f + U_f \quad (2.12)$$

Εάν ορίσουμε την ολική μηχανική ενέργεια του συστήματος, E , ως το άθροισμα της κινητικής ενέργειας συν την δυναμική ενέργεια, μπορούμε να εκφράσουμε την διατήρηση της ενέργειας ως εξής :

$$E_i = E_f \quad (2.13)$$

Όπου

$$E \equiv K + U \quad (2.14)$$

Έτσι ο νόμος διατήρησης της μηχανικής ενέργειας λέει ότι όταν η δύναμη που παράγει έργο είναι διατηρητική, τότε η ολική μηχανική ενέργεια του συστήματος παραμένει σταθερή. Η, ισοδύναμα, εάν η κινητική ενέργεια ενός διατηρητικού συστήματος αυξηθεί (ή μειωθεί) κατά μία ποσότητα τότε η δυναμική ενέργεια μειώνεται (ή αυξάνεται) κατά τον ίδιο τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Γραμμική ορμή και κρούσεις

Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την κίνηση ενός συστήματος που αποτελείται από πολλά σώματα. Θα εισαγάγουμε την έννοια της γραμμικής ορμής και θα δείξουμε ότι η ορμή διατηρείται όταν το σύστημα είναι απομονωμένο από το περιβάλλον. Ο νόμος διατήρησης της ορμής μας διευκολύνει πολύ στην μελέτη όπως είναι οι κρούσεις και η πρόωση πυραύλων.

3.1 Γραμμική ορμή και ώθηση

Ορίζουμε ότι η γραμμική ορμή ενός σώματος μάζας m το οποίο κινείται με ταχύτητα u είναι ίση με το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα :

$$p = mu \quad (3.1)$$

Η ορμή είναι διανυσματική ποσότητα επειδή ισούται με το γινόμενο μιας βαθμωτής ποσότητας, της μάζας m και μιας διανυσματικής, της ταχύτητας u . Έχει την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα u και οι διαστάσεις της είναι ML/T . Στο SI η ορμή έχει μονάδες kgm/s .

Εάν ένα σώμα κινείται σε τυχαία κατεύθυνση, η ορμή έχει τρεις συνιστώσες και η Εξίσωση 3.1 μπορεί να αντικατασταθεί με τις αντίστοιχες τρεις εξισώσεις των συνιστωσών της :

$$p_x = mux \quad p_y = muy \quad p_z = muz \quad (3.2)$$

Εάν εφαρμόσουμε τον δεύτερο νόμο του Newton, μπορούμε να βρούμε την σχέση ανάμεσα στην γραμμική ορμή ενός σώματος και στην δύναμη που δρα πάνω του. Ο ως προς τον χρόνο ρυθμός μεταβολής της γραμμικής ορμής ενός σώματος ισούται με την συνισταμένη των δυνάμεων οι οποίες δρουν πάνω στο σώμα. Δηλαδή :

$$F = \frac{dp}{dt} \quad (3.3)$$

Από την Εξίσωση 3.3 βλέπουμε ότι εάν η συνισταμένη δύναμη είναι μηδενική, η ορμή του σώματος είναι σταθερή. Με άλλα λόγια, η γραμμική ορμή ενός σώματος είναι σταθερή όταν $F=0$. Προφανώς, όταν ένα σώμα είναι απομονωμένο (δηλαδή δεν αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του) και αναγκαστικά $F=0$, τότε διατηρείται η γραμμική ορμή του p . Αυτό το αποτέλεσμα φαίνεται και από τον δεύτερο νόμο του Newton στην μορφή $F = m du/dt$. Δηλαδή, όταν η δύναμη είναι μηδενική, τότε η επιτάχυνση του είναι μηδενική και η ταχύτητα του είναι σταθερή. Και επειδή

(για $u \ll c$) και η μάζα του είναι σταθερή, η γραμμική ορμή του είναι σταθερή. Άρα η Εξίσωση 3.3 γράφεται :

$$dp = Fdt \quad (3.4)$$

3.2 Κρούσεις

Στο μέρος αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τον νόμο διατήρησης της ορμής για να περιγράψουμε τι γίνεται όταν δυο σώματα συγκρούονται. Θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο **κρούση** για να περιγράψουμε την προσέγγιση των δυο σωμάτων επί ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, κατά το οποίο ασκούνται δυνάμεις ώθησης από το ένα σώμα στο άλλο. Υποθέτουμε ότι η δύναμη ώθησης που αναπτύσσεται λόγω της κρούσης είναι πολύ μεγαλύτερη από οποιαδήποτε εξωτερική δύναμη που δρα πάνω στα σώματα.

Η διαδικασία κρούσης, μακροσκοπικά, είναι αποτέλεσμα της επαφής δυο μακροσκοπικών αντικειμένων. Τέτοια παραδείγματα έχετε δει πολλά, όπως λ.χ. την κρούση ανάμεσα σε δυο μπίλιες μπιλιάρδου η το χτύπημα μιας μπάλας με ρακέτα. Πρέπει όμως να γενικεύσουμε την έννοια της «κρούσης», διότι η λέξη «επαφή» στον μικρόκοσμο δεν έχει νόημα ούτε ορίζεται. Εκείνο που συμβαίνει είναι ότι αναπτύσσονται δυνάμεις ώθησης, λόγω της ηλεκτροστατικής αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα ηλεκτρόνια των ατόμων των επιφανειών των δυο σωμάτων.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το τι συμβαίνει όταν προσεγγίσουμε το θέμα βαθύτερα. Λογούχρη την κρούση ενός πρωτονίου με ένα σωματίδιο α (που είναι ο πυρήνας ενός ατόμου ηλίου). Τα δυο σωματίδια είναι φορτισμένα θετικά, για αυτό απωθούν το ένα το άλλο λόγω της ηλεκτροστατικής δύναμης. Στη φυσική αποδίδουμε τη διαδικασία αυτή με τον όρο *σκέδαση*.

Όταν δυο σώματα μάζας m_1 και m_2 συγκρούονται, οι δυνάμεις ώθησης μεταβάλλονται συνήθως κατά έναν πολύπλοκο τρόπο. Εάν \mathbf{F}_{12} είναι η δύναμη που ασκεί το m_2 πάνω στο m_1 , τότε η μεταβολή της ορμής του m_1 λόγω της κρούσης είναι

$$\Delta p_1 = \int_{t_i}^{t_f} \mathbf{F}_{12} dt \quad (3.5)$$

Έξωλλου, εάν \mathbf{F}_{12} είναι η δύναμη την οποία ασκεί το m_1 στο m_2 , τότε η μεταβολή της ορμής του m_2 λόγω της κρούσης είναι

$$\Delta p_2 = \int_{t_i}^{t_f} \mathbf{F}_{21} dt \quad (3.6)$$

Γνωρίζουμε όμως από τον τρίτο νόμο του Newton ότι η δύναμη την οποία ασκεί το m_2 πάνω στο m_1 είναι ίση και αντίθετη με τη δύναμη που ασκεί το m_1 πάνω στο m_2 , δηλαδή $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$. Έτσι συμπεραίνουμε ότι

$$\Delta p_1 = -\Delta p_2 \quad (3.7)$$

$$\Delta p_1 + \Delta p_2 = 0 \quad (3.8)$$

Αφού η ολική ορμή του συστήματος είναι $\mathbf{P} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$, συμπεραίνουμε ότι η μεταβολή της ορμής του συστήματος λόγω της κρούσης είναι μηδενική, δηλαδή

$$\mathbf{P} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = \text{σταθερή}$$

Αυτό ακριβώς είναι το αποτέλεσμα που περιμένουμε, ότι δεν δρουν εξωτερικές δυνάμεις πάνω στο σύστημα. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε εάν θεωρήσουμε την κίνηση λίγο πριν και λίγο μετά από την κρούση. Και τούτο συμβαίνει διότι οι δυνάμεις της ώθησης που αναπτύσσονται είναι εσωτερικές δυνάμεις του συστήματος και δεν επηρεάζουν την ορμή του. Επομένως καταλήγουμε ότι :

σε οποιοδήποτε κρούση, η ολική ορμή του συστήματος λίγο πριν από την κρούση είναι ίση με την ολική ορμή του συστήματος λίγο μετά από την κρούση, διότι η ολική ορμή ενός απομονωμένου συστήματος είναι οποιαδήποτε στιγμή η ίδια.

3.3 Μη ελαστική κρούση

Όπως είδαμε, λοιπόν, όσες φορές έχουμε κρούση δυο σωμάτων που αποτελούν απομονωμένο σύστημα ολική ορμή του είναι πάντοτε σταθερή. Η ολική κινητική τους ενέργεια όμως δεν διατηρείται. Γενικά (ούτε υπάρχει κανένας νόμος διατήρησης της κινητικής ενέργειας) στις περισσότερες κρούσεις, μάλιστα, μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια και σε εσωτερική ελαστική δυναμική ενέργεια, όταν δυο σώματα παραμορφώνονται κατά την διάρκεια της κρούσης.

Έτσι, γενικά, η ορμή διατηρείται αλλά όχι και η κινητική ενέργεια και τότε λέμε ότι έχουμε μη ελαστική κρούση, οπότε μας είναι πιο εύκολο να εφαρμόσουμε τον νόμο διατήρησης της ορμής. Όταν μια λαστιχένια μπάλα πέσει πάνω σε ένα σκληρό πάτωμα, η κρούση είναι μη ελαστική (ανελαστική), διότι μέρος της κινητικής ενέργειας της μπάλας χάνεται κατά την παραμόρφωση της την στιγμή που αγγίζει το πάτωμα. Όταν δυο αντικείμενα συγκρουστούν και κολλήσουν το ένα με το άλλο μετά την κρούση λέμε ότι έχουμε τέλεια μη ελαστική η (πλαστική) κρούση, η οποία αποτελεί ακραία περίπτωση μη ελαστικής κρούσης. Λογουχάρη εάν συγκρουστούν δυο κομμάτια στόκου θα κολλήσουν το ένα με το άλλο και θα κινηθούν με την ίδια ταχύτητα. Όταν ένας μετεωρίτης πέσει πάνω στην Γη, χώνεται μέσα στο έδαφος και η κρούση είναι τέλεια μη ελαστική. Πάντως σε μια μη ελαστική κρούση δεν μετατρέπεται απαραίτητα όλη η αρχική κινητική ενέργεια, διότι τα κολλημένα αντικείμενα δεν παραμένουν απαραίτητα ακίνητα μετά την κρούση.

3.4 Ελαστική κρούση

Ορίζουμε την ελαστική κρούση ως κρούση κατά την οποία διατηρούνται η ορμή και η κινητική ενέργεια. Οι κρούσεις ανάμεσα στις μπίλιες του μπιλιάρδου ή οι κρούσεις μορίων ενός αερίου με τα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα ελαστικών κρούσεων. Στην πραγματικότητα όμως οι μακροσκοπικές κρούσεις είναι μόνο κατά προσέγγιση ελαστικές, διότι πάντοτε παραμένει μια μικρή παραμόρφωση των σωμάτων και επομένως πάντοτε υπάρχει απώλεια κινητικής ενέργειας. Πάντως στον μικρόκοσμο παρατηρούμε ελαστικές κρούσεις ανάμεσα στα ατομικά και υποατομικά σωματίδια. Έτσι, λοιπόν, οι ελαστικές και τελείως μη ελαστικές κρούσεις είναι ακραίες περιπτώσεις και οι περισσότερες εντάσσονται κάπου ανάμεσα μας.

3.5 Ιδιότητες ελαστικών και μη ελαστικών κρούσεων

1. Μη ελαστική κρούση είναι εκείνη κατά την οποία διατηρείται η ορμή αλλά δεν διατηρείται η κινητική ενέργεια.
2. Τελείως μη ελαστική ή (πλαστική) κρούση ανάμεσα σε δυο σώματα είναι μια περίπτωση μη ελαστικής κρούσης κατά την οποία τα δυο σώματα κολλούν μεταξύ τους μετά την κρούση και έτσι έχουν την ίδια τελική ταχύτητα.
3. Ελαστική κρούση είναι εκείνη κατά την οποία διατηρείται η ορμή και η κινητική ενέργεια.

3.6 Κρούσεις σε μια διάσταση

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε κρούσεις σε μια διάσταση και μελετούμε δυο ακραίες περιπτώσεις κρούσεων: (1) τελείως μη ελαστικές και (2) ελαστικές. Η πιο σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δυο αυτά είδη κρούσεων είναι ότι η ορμή διατηρείται και στις δυο περιπτώσεις, αλλά η κινητική ενέργεια διατηρείται μόνο στην περίπτωση της ελαστικής κρούσης.

3.7 Τελείως μη ελαστική κρούση

Θεωρήστε ότι δυο σώματα με μάζες m_1 και m_2 κινούνται με ταχύτητες \mathbf{u}_{1i} και \mathbf{u}_{2i} , αντίστοιχα, σε ευθεία γραμμή. Εάν τα δυο σώματα κολλήσουν μεταξύ τους και κινηθούν με κοινή ταχύτητα \mathbf{u}_f μετά την κρούση, τότε μόνον η ορμή διατηρείται. Λέμε, λοιπόν, ότι η ολική ορμή πριν από την κρούση ισούται με την ολική ορμή μετά την κρούση, αφού η ολική ορμή παραμένει σταθερή συνεχώς (και κατά την διάρκεια της κρούσης) δηλαδή

$$m_1 \mathbf{u}_{1i} + m_2 \mathbf{u}_{2i} = (m_1 + m_2) \mathbf{u}_f \quad (3.9)$$

$$u_f = \frac{m_1 u_{1i} + m_2 u_{2i}}{m_1 + m_2} \quad (3.10)$$

3.8 Ελαστικές κρούσεις

Θεωρούμε ότι δυο σώματα συγκρούονται ελαστικά. Στην περίπτωση αυτή, εκτός από την ορμή, διατηρείται και η κινητική ενέργεια, επομένως :

$$m_1 u_{1i} + m_2 u_{2i} = m_1 u_{1f} + m_2 u_{2f} \quad (3.11)$$

$$\frac{1}{2} m_1 u_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 u_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 u_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 u_{2f}^2 \quad (3.12)$$

Όπου η ταχύτητα είναι θετική εάν το σώμα κινείται προς τα δεξιά και αρνητική εάν το σώμα κινείται προς τα αριστερά.

Σε ένα τυπικό πρόβλημα με ελαστική κρούση θα υπάρχουν δυο άγνωστοι τους οποίους βρίσκουμε λύνοντας το σύστημα των Εξισώσεων (3.11) και (3.12). Μπορούμε όμως να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία : Ξαναγράφουμε την εξίσωση (3.12) ως εξής :

$$m_1 (u_{1i}^2 - u_{1f}^2) = m_2 (u_{2f}^2 - u_{2i}^2) \quad (3.13)$$

Εάν παραγοντοποιήσουμε, έχουμε:

$$m_1 (u_{1i} - u_{1f})(u_{1i} + u_{1f}) = m_2 (u_{2f} - u_{2i})(u_{2f} + u_{2i}) \quad (3.14)$$

Εάν τώρα πάρουμε την εξίσωση (3.7), μπορούμε να την ξαναγράψουμε ως εξής:

$$m_1 (u_{1i} - u_{1f}) = m_2 (u_{2f} - u_{2i}) \quad (3.15)$$

Εάν διαιρέσουμε την εξίσωση (3.13) με την εξίσωση (3.14), βρίσκουμε :

$$u_{1i} + u_{1f} = u_{2f} + u_{2i} \quad (3.16)$$

Η εξίσωση αυτή σε συνδυασμό με την εξίσωση διατήρησης της ορμής είναι πολύ χρήσιμη για την λύση προβλημάτων στα οποία υπεισέρχονται ελαστικές κρούσεις. Συμφώνα με την εξίσωση (3.16) η σχετική ταχύτητα των δυο σωμάτων πριν την κρούση, $u_{1i} - u_{2i}$, ισούται με το αρνητικό της σχετικής ταχύτητας τους μετά από την κρούση, $-(u_{1f} - u_{2f})$.

Υποθέστε ότι οι μάζες και οι αρχικές ταχύτητες των δυο σωμάτων είναι γνωστές. Μπορούμε να λύσουμε τις εξισώσεις (3.15) και (3.16) για να βρούμε τις τελικές ταχύτητες συναρτήσει των αρχικών, αφού έχουμε δυο εξισώσεις και δυο αγνώστους.

Λύνουμε ως προς u_{1f} και u_{2f} και βρίσκουμε :

$$u_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{2i} \quad (3.17)$$

$$u_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{2i} \quad (3.18)$$

Μην παραλείπετε να βάζετε σχετικά πρόσημα στις Εξισώσεις (3.17) και (3.18), δεδομένου ότι η ταχύτητα είναι διάνυσμα. Λογουχάρη, εάν η m_2 κινείται αρχικά προς τα αριστερά, τότε η u_{2i} είναι αρνητική.

Ας μελετήσουμε μερικές ειδικές περιπτώσεις: Εάν $m_1 = m_2$, τότε βλέπουμε ότι $u_{1f} = u_{2i}$ και $u_{2f} = u_{1i}$. Δηλαδή, εάν τα σώματα έχουν ίσες μάζες τότε ανταλλάσσουν ταχύτητες. Αυτό το παρατηρούμε όταν παίζουμε μπιλιάρδο. Εάν η m_2 είναι αρχικά ακίνητη, τότε $u_{2i} = 0$ και οι εξισώσεις (3.17) και (3.18), γίνονται

$$u_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} \quad (3.19)$$

$$u_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} \quad (3.20)$$

Εάν η m_1 είναι πολύ μεγαλύτερη από την m_2 , τότε βλέπουμε από τις Εξισώσεις (3.19) και (3.20) ότι $u_{1f} \approx u_{1i}$ και $u_{2f} \approx 2u_{1i}$. Δηλαδή, όταν ένα πολύ βαρύ σώμα συγκρούεται μετωπικά με ένα ελαφρύ σώμα που είναι ακίνητο, τότε το βαρύ σώμα συνεχίζει την κίνηση του και μετά την κρούση χωρίς καμιά μεταβολή, ενώ το ελαφρύ σώμα κινείται με ταχύτητα δυο φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα του βαρέως σώματος. Τέτοια περίπτωση είναι η σύγκρουση ενός βαρέως ατόμου, όπως είναι το άτομο του ουρανίου, με ένα ελαφρύ άτομο, που είναι ένα άτομο υδρογόνου.

Εάν η m_2 είναι πολύ μεγαλύτερη από την m_1 και εάν η m_2 αρχικά ηρεμεί, τότε βρίσκουμε από (3.19) και (3.20) ότι $u_{1f} \approx -u_{1i}$ και $u_{2f} \approx 0$. Δηλαδή, όταν ένα πολύ ελαφρύ σώμα συγκρούεται κατά μέτωπο με ένα πολύ βαρύ σώμα, που αρχικά ήταν ακίνητο, τότε η ταχύτητα του ελαφρού σώματος αλλάζει κατεύθυνση κατά 180° , ενώ το βαρύ σώμα παραμένει σχεδόν ακίνητο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σύμφωνα με την μορφή της πτυχιακής μας εργασίας ήταν απαραίτητη η κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης πάνω στην οποία πρόκειται να διεξαχθούν πειράματα φυσικής και πιο συγκεκριμένα πειράματα κρούσεων και διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Θέλοντας λοιπόν να ικανοποιήσουμε όλες τις πιθανές περιπτώσεις των παραπάνω πειραμάτων κρίναμε πως η κατάλληλη μορφή της συσκευής πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα για τα οποία χρειάστηκε διαφορετική μελέτη και διαδικασία κατασκευής.

Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου αναλύονται πλήρως και με χρήση εικόνων, όλες οι λεπτομέρειες γύρω από την κατασκευή του κάθε εξαρτήματος.

4.1 Διάδρομος

Ο διάδρομος αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι κίνησης των αμαξιδίων μιας και πρέπει να είναι άψογα λειασμένος και ευθυγραμμισμένος. Για να επιτευχτεί η λεία επιφάνεια χωρίς κόπο και με καλό αποτέλεσμα η πιο σωστή επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε (inox) λαμαρίνα, η οποία για οικονομικούς λόγους δεν προτιμήθηκε. Η αμέσως επόμενη επιλογή μας και πιο οικονομική, ήταν η γαλβανισμένη λαμαρίνα με αρκετά καλή ποιότητα λείανσης και αντοχή σε κάμψη.

Με βάση τους παραπάνω παράγοντες αγοράσαμε την γαλβανισμένη λαμαρίνα σε διαστάσεις που προέκυψαν από τις ανάγκες του πειράματος : πλάτος, βάρος αμαξιδίων καθώς και το αναγκαίο μήκος για την άνετη επίτευξη των πειραμάτων.

Αρχικά το πλάτος της λαμαρίνας, καθορίστηκε στα 94mm, τα οποία προέκυψαν από τα 80mm πλάτος αμαξιδίου, τα 4mm (2mm + 2mm) δεξιά και αριστερά ανοχής για αποφυγή τριβών στα πλαϊνά και τα 10mm (5mm + 5mm) ύψους των γυρισμάτων προστασίας ανατροπής των αμαξιδίων. Σχετικά με το μήκος, αποφασίστηκε ότι η τιμή των 1650mm ως ικανοποιητική για την διεξαγωγή των πειραμάτων.



Εικόνα 1: Διάδρομος πειραματικής συσκευής

Σύμφωνα με την μελέτη που έγινε για την δημιουργία του διαδρόμου απαραίτητα για την κατασκευή του είναι τα παρακάτω βήματα :

1. Κοπή λαμαρίνας των διαστάσεων που προαναφέρθηκαν σε CNC ψαλίδι.



Εικόνα 2: Λαμαρίνα κατασκευής του διαδρόμου

2. Στραντζάρισμα της λαμαρίνας στα πλαϊνά της σε CNC στράντζα.



Εικόνα 3: Διαδικασία στραντζαρίσματος λαμαρίνας διαδρόμου

3. Δοκιμή κίνησης αμαξιδίου στο εσωτερικό του διαδρόμου για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των γυρισμάτων και των ανοχών.



Εικόνα 4: Δοκιμαστικά κομμάτια για τον διάδρομο

4.2 Βάση

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή του διαδρόμου αποφασίσαμε να κατασκευάσουμε μια βάση η οποία θα προσφέρει σταθερότητα και εύκολη μεταφορά της συσκευής. Το υλικό που επιλέχτηκε για αυτή την βάση είναι κόντρα πλακέ θαλάσσης το οποίο κόβεται και τρυπιέται εύκολα. Κατά συνέπεια ακλούθησε το κόψιμο του τεμαχίου σύμφωνα με τις διαστάσεις που καθορίστηκαν από το μήκος του διαδρόμου, δηλαδή 1600mm και πλάτος 300mm ικανό να προσφέρει σταθερότητα και αποφυγή ανατροπής της συσκευής κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Με βάση την αρχική μελέτη για την σύνδεση των ντιζών και της βάσης τοποθετήσαμε στο κάτω μέρος αυτής τρία στηρίγματα (ποδαράκια) τα οποία μας έδωσαν το περιθώριο χώρου για την σύσφιξη των περικοχλίων στο κάτω μέρος της βάσης.





Εικόνα 5: Βάση πειραματικής συσκευής

4.3 Ντίζες

Οι ντίζες που χρησιμοποιήσαμε ήταν τριών ειδών, οι δυο για την στήριξη του διαδρόμου πάνω στην ξύλινη βάση και η τρίτη για την συναρμολόγηση του ράουλου προκειμένου να αποφύγουμε την χρήση κολαούζου για δημιουργία σπειρώματος σε άξονα. Οι δυο πρώτες ντίζες ήταν διατομής $\text{Ø}24\text{mm}$ η πρώτη, για την στήριξη του ενός άκρου του διαδρόμου και $\text{Ø}20\text{mm}$ η δεύτερη για την κατάληξη του διαδρόμου η οποία προσαρμόζεται στο κάτω μέρος του ράουλου.

Η τρίτη ντίζα είναι $\text{Ø}10\text{mm}$ και όπως προαναφέραμε μας βοήθησε να συναρμολογήσουμε τα τεμάχια του ράουλου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 6: Ντίζα σύνδεσης τμημάτων ράουλου

Τα μήκη που επιλέχτηκαν για τις ντίζες και κυρίως για την πρώτη έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην μηχανική της κατασκευής. Η μεν πρώτη ντίζα της διατομής $\text{Ø}24\text{mm}$ είναι αυτή που με την χρήση περικοχλίου μπορεί να μας ρυθμίσει οποιοδήποτε υψόμετρο – κλίση χρειαστούμε με μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 7: Ντίζα στήριξης του άνω άκρου του διαδρόμου

Ενώ η δεύτερη ντίζα διατομής $\text{\O}20\text{mm}$ της κατάληξης έχει κοπεί με περίσσεια μήκους το οποίο δεν είναι εμφανές αλλά μπορεί μεταγενέστερα να χρησιμοποιηθεί για διάφορα πειράματα.



Εικόνα 8: Ντίζα στήριξης ράουλου

Οι συνδέσεις με την ξύλινη βάση έγιναν με την χρήση περικοχλίων και ροδελών ύστερα από οπή που ανοίχτηκε στο σημείο που ήταν απαραίτητο με διάσταση λίγο μεγαλύτερη από αυτή της ντίζας. Με τον ίδιο τρόπο έγινε και η συναρμολόγηση του ράουλου.



Εικόνα 9: Τελειοποιημένο ράουλο και ροδέλες-περικόχλια συνδέσεων

Τέλος έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος σύνδεσης της αρχής του διαδρόμου με την ντίζα ο οποίος πραγματοποιήθηκε με την χρήση κομματιού κοιλοδοκού (80mm)x(50mm) στο οποίο έγινε οπή $\text{Ø}26\text{mm} > \text{Ø}24\text{mm}$ της ντίζας προκειμένου να αποφευχθεί η δυσκολία κίνησης λόγω του σπειρώματος.

4.4 Κοιλοδοκός

Από τις διαστάσεις που προαναφέραμε για τον κοιλοδοκό η σημαντικότερη είναι αυτή των 80mm η οποία ταυτίζεται με το πλάτος του διαδρόμου και μας βοήθησε στην πιο εύκολη σύνδεση διαδρόμου – κοιλοδοκού – ντίζας. Απαραίτητες διεργασίες για την εφαρμογή του κοιλοδοκού ήταν η κοπή του στο κατάλληλο μήκος των 50mm και η διάτρηση του με τρυπάνι $\text{Ø}26\text{mm} > \text{Ø}24\text{mm}$.



Εικόνα 10: Κοπή και διάτρηση κοιλοδοκού

Τέλος, υπολείπεται η σύνδεση κοιλοδοκού – διαδρόμου.



Εικόνα 11: Τελειοποιημένος και βαμμένος κοιλοδοκός

4.5 Πέλματα σύνδεσης



Εικόνα 12: Πέλματα σύνδεσης διαδρόμου κοιλοδοκού

Για την σύνδεση κοιλοδοκού – διαδρόμου επιλέχτηκαν δυο πέλματα (λάμες) αλουμινίου μήκους 100mm και πλάτους 15mm. Η επιλογή του συγκεκριμένου μήκους έγινε προκειμένου να υπάρχει απόσταση γύρω στα 50mm μεταξύ διαδρόμου και κοιλοδοκού, για την άνετη λήψη των κατάλληλων γωνιών και την απόδοση της κατάλληλης κλίσης που χρειαζόμαστε σε κάθε περίπτωση για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Η σύνδεση των πελμάτων με τον διάδρομο και τον κοιλοδοκό έγινε ταυτόχρονα προκειμένου να επιτύχουμε την περιστροφή του κοιλοδοκού χωρίς να χρησιμοποιήσουμε επιπλέον μηχανισμούς οι οποίοι θα εμπόδιζαν την είσοδο της ντίζας στην οπή του κοιλοδοκού. Στην διαδικασία συναρμολόγησης ακολουθηθήκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Διάτρηση του διαδρόμου στο άνω άκρο με δυο οπές των 6mm για αποφυγή περιστροφής του πέλματος.



Εικόνα 13: Διάτρηση πλαϊνών διαδρόμου

2. Διάτρηση κοιλοδοκού στα πλαϊνά με μια σπή των $\varnothing 6\text{mm}$ για να επιτύχουμε περιστροφή.



Εικόνα 14: Διάτρηση πλαϊνών κοιλοδοκού

3. Αντίστοιχο άνοιγμα σπών ίδιας διαμέτρου και γεωμετρίας στα άκρα των πελμάτων.



Εικόνα 15: Διάτρηση πελμάτων σύνδεσης

4. Δοκιμαστική εφαρμογή του ενός πέλματος για να παρατηρηθεί η σωστή λειτουργία του η οποία μας οδήγησε στην χρήση ροδελών για την κάλυψη των κενών στις συνδέσεις κυρίως μεταξύ πέλματος - διαδρόμου. Η σύνδεση του διαδρόμου με τα πέλματα έγινε με την χρήση ροδελών, περικοχλίων και βιδών κατάλληλης διαμέτρου προκειμένου να ικανοποιούν την διατομή των $\varnothing 6$ mm.



Εικόνα 16: Δοκιμή σύνδεσης πελμάτων-διαδρόμου

5. Για την συγκράτηση και την επίτευξη της περιστροφής του κοιλοδοκού με τα πέλματα η τεχνική που εφαρμόστηκε ήταν η χρήση βιδών με $\varnothing 6$ mm και μεγαλύτερου μήκους από αυτές της σύνδεσης διαδρόμου – πελμάτων. Αρχικά έγινε η σταθεροποίηση των βιδών και κατά επέκταση του πέλματος με περικόχλια και ροδέλες.



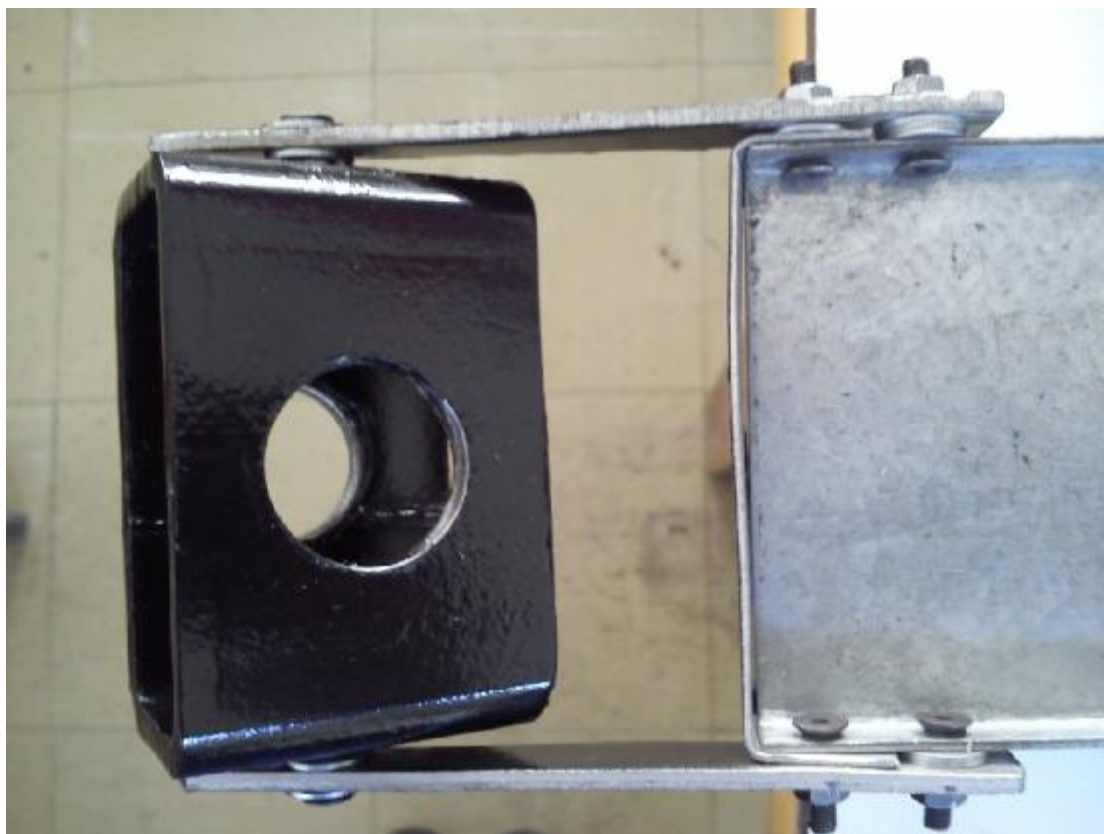
Εικόνα 17: Δοκιμή σύνδεσης πελμάτων-διαδρόμου-κοιλοδοκού

6. Εισαγωγή του κοιλοδοκού από τα πλαϊνά στην βίδα μεγαλύτερου μήκους



Εικόνα 18: Έλεγχος σωστής λειτουργίας κοιλοδοκού

7. Επανάληψη βήματος 6 για την άλλη πλευρά του κοιλοδοκού αφού πρώτα έχουμε σταθεροποιήσει την βίδα μεγαλύτερου μήκους πάνω στο πέλμα με τα αντίστοιχα περικόχλια και ροδέλες.
8. Τέλος σταθεροποιούμε το πέλμα πάνω στον διάδρομο πάλι με τα αντίστοιχα περικόχλια και ροδέλες.



Εικόνα 19: Τελική σύνδεση κοιλοδοκού-πελμάτων-διαδρόμου

4.6 Νεύρο

Αφού ολοκληρώσαμε την σύνδεση διαδρόμου –κοιλοδοκού με τις ντίζες της βάσης, παρατηρήθηκε η δημιουργία μιας μικρής καμπυλότητας, στο μέσο του διαδρόμου η οποία προκλήθηκε από το σχετικά μεγάλο μήκος και βάρος αυτού. Το γεγονός αυτό ήταν ανεπιθύμητο για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Η μόνη λύση σε αυτό ήταν η δημιουργία και τοποθέτηση ενός νεύρου στο κάτω μέρος του διαδρόμου. Για την κατασκευή του νεύρου-ενίσχυσης ακολουθηθήκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Εύρεση λαμαρίνας μήκους μικρότερου του διαδρόμου και κατάλληλου για να χωράει ανάμεσα στα δυο άκρα αυτού με απόσταση από αυτά περίπου στα 80mm αντίστοιχα.



Εικόνα 20: Λαμαρίνα κατασκευής νεύρου

2. Το πλάτος επιλέχτηκε στα 50mm εκ των οποίων τα 30mm (15mm δεξιά και 15mm αριστερά) χρησιμοποιήθηκαν για το στραντζάρισμα προκειμένου να δημιουργηθεί γεωμετρία μορφής (Π) σε όλο το προαναφερόμενο μήκος της λαμαρίνας.



Εικόνα 21: Διαδικασία στραντζαρίσματος λαμαρίνας νεύρου

3. Συγκόλληση του νεύρου στο κάτω μέρος του διαδρόμου με την χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης τύπου ARGON κατά μήκος του διαδρόμου.



Εικόνα 22: Συγκόλληση νεύρου στο κάτω μέρος του διαδρόμου

Πραγματοποιώντας τα βήματα αυτά εξαλείψαμε εντελώς την καμπυλότητα και επιτύχαμε την επιθυμητή επιπεδότητα του διαδρόμου όπως αποδεικνύουν οι παρακάτω εικόνες :



Εικόνα 23: Έλεγχος επιπεδότητας διαδρόμου

4.7 Ράουλο

Εκτός από την μία στήριξη του διαδρόμου στο άνω άκρο, απαραίτητη είναι και η στήριξη αυτού στον τερματισμό. Για αυτό τον λόγο αποφασίσαμε να κατασκευαστεί στήριγμα μορφής ράουλου το οποίο θα κυλιέται στο κάτω μέρος του διαδρόμου καλύπτοντας όλες τις κινήσεις του καθώς ο διάδρομος λαμβάνει διάφορες κλίσεις. Η μελέτη για την κατασκευή του ράουλου όρισε τα παρακάτω απαραίτητα :

1. Σαν πρώτο βήμα επιλέχτηκε το είδος το ράουλου το οποίο ήταν κομμάτι μεταλλικού σωλήνα $\text{Ø}40\text{mm}$ και μήκους $L=120\text{mm}$.



Εικόνα 24: Σωλήνας ράουλου

2. Επιλογή λαμαρίνας διαστάσεων $200\text{mm} \times 100\text{mm}$. Διάτρηση αυτής με τρυπάνι $\text{Ø}12\text{mm}$ συμμετρικά και των δυο διαστάσεων (πλάτους και μήκους) εισχωρώντας 40mm προς το κέντρο κατά την διεύθυνση του μήκους. Επίσης διάτρηση ήταν απαραίτητη και στο κέντρο της λαμαρίνας με τρυπάνι $\text{Ø}20\text{mm}$ η οποία θα χρησιμοποιηθεί για το πέρασμα και την σύσφιξη και της δεύτερης ντίζας.



Εικόνα 25: Λαμαρίνα ράουλου

3. Στραντζάρισμα στα άκρα της διεύθυνσης του μήκους στα 40mm και από τις δυο πλευρές προκειμένου να δημιουργηθεί γεωμετρία μορφής (Π).
4. Δημιουργία ταπών στρογγυλής γεωμετρίας με $\text{Ø}40\text{mm}$ όσο δηλαδή και η διάμετρος του ράουλου, διάτρηση αυτών στο κέντρο τους με τρυπάνι $\text{Ø}12\text{mm}$ και συγκόλληση τους στις άκρες του ράουλου.



Εικόνα 26: Τάπες ράουλου

5. Σύσφιξη και της δεύτερης ντίζας με χρήση περικοχλίων και ροδελών και έλεγχος σωστής λειτουργίας της κατασκευής του ράουλου.



Εικόνα 27: Σύσφιξη λαμαρίνας ράουλου πάνω στην ντίζα

6. Χρήση της τρίτης ντίζας (άξονα)για την τελική συναρμολόγηση και σύσφιξη λαμαρίνας-ράουλου.



Εικόνα 28: Τελική συναρμολόγηση ράουλου

4.8 Βάσεις φωτοτυλών

Με την μέχρι τώρα πορεία της κατασκευής και την τυπική δοκιμή των πρώτων πειραμάτων παρατηρήσαμε πρόβλημα στην στήριξη των φωτοτυλών. Αυτό μας ανάγκασε να κατασκευάσουμε δύο βάσεις για την στήριξη τους. Ενημερωθήκαμε ότι στον εξοπλισμό του εργαστηρίου υπάρχουν βάσεις όπως φαίνεται στην εικόνα (28), οι οποίες θα μας βοηθήσουν σε αυτό εφόσον κατασκευάζαμε μια προέκταση για την καθεμία, η οποία θα ενσωματώνονταν σε αυτές αποκτώντας την μορφή που επιθυμούσαμε για την συγκράτηση των φωτοτυλών.



Εικόνα 29:Βάση στήριξης φωτοπυλών

Η κατασκευή ήταν απλή στην λογική μας και μας καθοδήγησαν οι έτοιμες βάσεις. Στην διαδικασία κατασκευής ακλουθήσαμε τα εξής βήματα :

1. Κοπή σωλήνα $\varnothing 20\text{mm}$ σε μήκος $L=35\text{mm}$



Εικόνα 30: Κοπή σωλήνα προέκτασης για την στήριξη των φωτοπυλών

2. Διάτρηση αυτού με τρυπάνι $\text{\O}14\text{mm}$



Εικόνα 31: Διάτρηση σωλήνα προέκτασης για την στήριξη των φωτοπυλών

3. Συγκράτηση κομματιού στην μέγγενη και χρήση κολαούζου της αμέσως μικρότερης διατομής για την δημιουργία του αρχικού σπειρώματος.
4. Χρήση κολαούζου ίδιας διατομής με αυτής της οπής ο οποίος καθοδηγούμενος από το αρχικό σπείρωμα δημιουργήσει το τελικό σπείρωμα που επιθυμούσαμε προκειμένου να βιδωθεί σε αυτό βίδα αντίστοιχης διατομής.



Εικόνα 32: Δημιουργία σπειρώματος στον σωλήνα

5. Κοπή μεταλλικής βέργας κυκλικής διατομής $\text{Ø}10\text{mm}$ και μήκους $L=450\text{mm}$ και συγκόλληση στο ένα άκρο της του σωλήνα που κατασκευάστηκε παραπάνω. (Η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε στην πίσω πλευρά της οπής).



Εικόνα 33:Συγκόλληση σωλήνα και μεταλλικής βέργας

6. Η λειτουργία της κατασκευής μας βασίζεται στο βίδωμα της βίδας η οποία θα παρασύρει τον κορμό της φωτοπύλης σφηνώνοντας τον στο εσωτερικό του σωλήνα και πετυχαίνοντας έτσι την επιθυμητή σταθερότητα αυτής.



Εικόνα 34: Έλεγχος σωστής λειτουργίας της προέκτασης για την στήριξη των φωτοπυλών

7. Τοποθέτηση της κατασκευής μας στην βάση του εργαστηρίου.



Εικόνα 35: Τελική τοποθέτηση φωτοπύλης στην βάση στήριξης

Τέλος επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για την κατασκευή της δεύτερης βάσης.

4.9 Ασφάλειες τερματισμού

Ένα άλλο πρόβλημα το οποίο παρατηρήθηκε κατά τα πρώτα πειράματα ήταν η προστασία των αμαξιδίων καθώς αυτά έφταναν στο τέλος του διαδρόμου. Προχωρήσαμε λοιπόν στην κατασκευή των ασφαλειών τερματισμού (STOP), όπως και στα πλαϊνά του διαδρόμου τα οποία θα συγκρατούν τα αμαξίδια εντός αυτού. Πιο εύκολο τόσο στην κατασκευή του όσο και στην προσαρμογή του πάνω στην πειραματική διάταξη ήταν το «STOP» του τερματισμού του διαδρόμου. Αυτό έγινε με κοπή λαμαρίνας στο ψαλίδι διαστάσεων 100mm x 10mm και στραντζάρισμα αυτής στα άκρα της στα 10 mm κατά την διεύθυνση της μεγάλης διάστασης. Ακλούθησε τοποθέτηση και συγκόλληση στο σώμα του διαδρόμου με ηλεκτροσυγκόλληση τύπου ARGON. Όσο αναφορά το «STOP» στην αρχή του διαδρόμου, κόψαμε λαμαρίνα ίδιων διαστάσεων με αυτές του πρώτου «STOP» και στραντζαρίστηκε κατά τον ίδιο τρόπο. Προκειμένου να ενσωματωθεί στον διάδρομο δημιουργήσαμε οπές $\varnothing 6\text{mm}$ στα στραντζαρισμένα άκρα και το σταθεροποιήσαμε με

τις ίδιες βίδες που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνδεση των πελμάτων με τον διάδρομο και τον κοιλοδοκό.



Εικόνα 36: Ασφάλειες τερματισμού άνω και κάτω άκρου του διαδρόμου

4.10 Σύνδεση ηλεκτρονικών

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, οι οποίες μας βοήθησαν στην μέτρηση και την καταγραφή τιμών χρόνου και ταχύτητας με μεγάλη ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές θα μπορέσουμε να λάβουμε αποτελέσματα τα οποία συνδυάζοντας τα θα καταλήξουμε στα τελικά μας συμπεράσματα.

Οι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιήσαμε είναι οι παρακάτω :

Φωτοπύλες(photo-gates) : Οι φωτοπύλες που προμηθευτήκαμε ήταν κοινές φωτοπύλες εμπορίου με κατάλληλη γεωμετρία που να αρμόζει στις απαιτήσεις της συσκευής.



Εικόνα 37: Φωτοπύλη

Η λειτουργία τους αρχίζει και τελειώνει κάθε φορά που ένα συμπαγές μη διαφανές υλικό περάσει εντός του πεδίου λειτουργίας της το οποίο καθορίζεται από τα δυο φωτοκύτταρα της τα οποία βρίσκονται το ένα απέναντι από το άλλο.

Συσκευή ένδειξης αποτελεσμάτων : Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα η συσκευή ένδειξης στο μπροστά μέρος της αποτελείται από την οθόνη ένδειξης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις φωτοκύβες, καθώς επίσης και από συνδυασμούς πλήκτρων που ρυθμίζουν το αποτέλεσμα της οθόνης. Μπορούμε δηλαδή μέσω των πλήκτρων να ρυθμίσουμε την ακρίβεια και να επιλέξουμε τις κατάλληλες μονάδες που βολεύουν κάθε φορά ανάλογα τις ανάγκες του πειράματος.



Εικόνα 38: Συσκευή μέτρησης και καταγραφής των αποτελεσμάτων του χρόνου

Η σύνδεση των φωτοκυλών με την συσκευή απόδοσης των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με τα ενσωματωμένα καλώδια των φωτοκυλών τα οποία προσαρμόζονται στις κατάλληλες υποδοχές του πίσω μέρους της συσκευής στις θέσεις #1 και #2 όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 39: Υποδοχές σύνδεσης των φωτοπυλών(#1, #2)

4.11 Κοπή μεταλλικών σωλήνων για τα αμαξίδια

Όπως προαναφέραμε στην παραπάνω ενότητα του κεφαλαίου η λειτουργία των φωτοπυλών απαιτεί την διέλευση συμπαγούς μη διαφανές υλικού,κατά προτίμηση μετάλλου, εντός του σχηματιζόμενου πεδίου από τα φωτοκύτταρα. Η έκδοση των αμαξιδίων όμως που προμηθευτήκαμε δεν διέθετε απαραίτητη προέκταση στο πάνω μέρος ικανή να θέτει σε λειτουργία την φωτοπύλη. Το πιο απλό και γρήγορο που μπορούσαμε να κάνουμε ήταν η κοπή και η προσαρμογή στο πάνω μέρος των αμαξιδίων μεταλλικών σωλήνων μικρής διατομής και κατάλληλου μήκους όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 40: Αμαξίδια και κεραίες αμαξιδίων

4.12 Λοιπά εργαλεία

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων απαιτήθηκαν κάποια περαιτέρω όργανα.

Μοιρογνωμόνιο : Για την ρύθμιση της κλίσης του διαδρόμου που απαιτούν τα εκάστοτε πειράματα.

Αλφάδι : Για την ρύθμιση της επιπεδότητας του διαδρόμου όταν το πείραμα απαιτεί μηδενική κλίση.



Εικόνα 41: Αλφάδι

Κανόνας : Για την μέτρηση των διαφόρων αποστάσεων που μας αφορούν για τους υπολογισμούς κατά την διεξαγωγή του πειράματος.



Εικόνα 42: Κανόνας

Λάδι: Κατά τα δοκιμαστικά των πειραμάτων και με βάση τους υπολογισμούς παρατηρήσαμε στα αποτελέσματα μας ένα σύνολο απωλειών οι οποίες οφείλονταν σε δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονταν μεταξύ των αμαξιδίων και του διαδρόμου στα πλαϊνά τους. Έτσι αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε λιπαντικό λάδι με σκοπό την ελαχιστοποίηση των προαναφερόμενων τριβών το οποίο εφαρμόζεται στα πλαϊνά του διαδρόμου με ειδικό πινελάκι.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των επιμέρους τμημάτων της πειραματικής διάταξης, ορισμένα από αυτά χρειάστηκε, είτε για αισθητικούς λόγους είτε για λόγους συντήρησης να βαφτούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με την πειραματική συσκευή, με σκοπό αφενός την πιστοποίηση των μετρήσεων που λαμβάνονται και αφετέρου τον καθορισμό νέων πειραματικών διαδικασιών εκπαιδευτικού χαρακτήρα για εισαγωγή στην διδαχθείσα ύλη του εργαστηρίου Ειδικών Μαθημάτων Φυσικής του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.

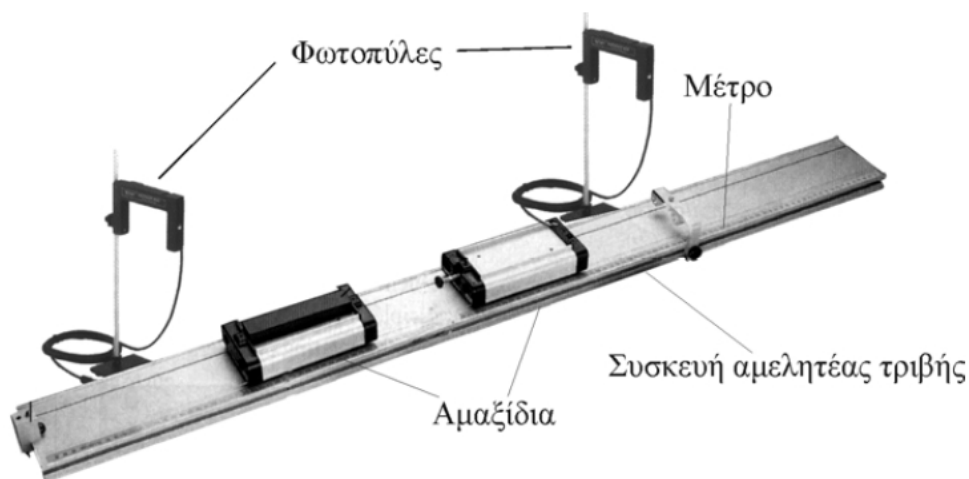
Αρχικά θα διεξαχθεί πείραμα με σκοπό την επαλήθευση του νόμου της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Θα χρησιμοποιήσουμε την πειραματική διάταξη σε συνδυασμό με την χρήση του αμαξιδίου και των δύο φωτοπυλών τοποθετημένων σε ικανή απόσταση για την ικανοποιητική μέτρηση του χρόνου κίνησης και κατά συνέπεια της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

Τέλος θα πραγματοποιηθεί και δεύτερο πείραμα για την εξακρίβωση της ισχύος των νόμων που διέπουν τις κρούσεις και πιο συγκεκριμένα, του νόμου διατήρησης της ορμής. Το πείραμα θα διεξαχθεί με την χρήση της πειραματικής διάταξης, των δύο αμαξιδίων και των δύο φωτοπυλών όπως περιγράφεται πιο κάτω στην ανάλυση των πειραμάτων.

5.1 Πείραμα 1: Αρχή Διατήρησης Ενέργειας

ΠΕΙΡΑΜΑ 1: Αρχή Διατήρησης Ενέργειας

Τίτλος: «Μελέτη διατήρησης της μηχανικής ενέργειας»



Σχήμα 5.1.1: Ενδεικτική πειραματική συσκευή

Σκοπός: Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιείται συσκευή που έχει σκοπό να επαληθεύσει την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του χρόνου για τον υπολογισμό της ταχύτητας, της επιτάχυνσης και της κινητικής ενέργειας.

Θεωρία: Για την διεξαγωγή του πειράματος είναι απαραίτητη η γνώση και η εφαρμογή ορισμένων βασικών εννοιών της θεωρίας. Στην συνέχεια παραθέτονται οι κυριότερες από αυτές ακολουθούμενες από τις μαθηματικές τους εξισώσεις.

Στιγμιαία ταχύτητα: u , είναι ίση με το όριο του $\Delta x/\Delta t$, καθώς το Δt τείνει προς το μηδέν:

$$u \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.1.1)$$

Μέση ταχύτητα: Ισούται με τον λόγο της μετατόπισης, (Δx), δια του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος (Δt)

$$\bar{U} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (5.1.2)$$

Επιτάχυνση: Ισούται με τον λόγο $\Delta u/\Delta t$, όπου $\Delta u = u_f - u_i$ είναι η μεταβολή της ταχύτητας στο ίδιο χρονικό διάστημα:

$$\bar{a} \equiv \frac{U_f - U_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad (5.1.3)$$

Έργο σταθερής δύναμης: Ισούται με το γινόμενο της συνιστώσας της δύναμης πάνω στην διεύθυνση της μετατόπισης επί το μέτρο της μετατόπισης.

Επειδή η συνιστώσα της \mathbf{F} στη διεύθυνση s είναι $F \cos \theta$, το έργο W της \mathbf{F} είναι

$$W \equiv (F \cos \theta) s \quad (5.1.4)$$

Ενέργεια:

- Ορίζουμε ότι η **κινητική ενέργεια** ενός σώματος είναι ίση με το γινόμενο του μισού της μάζας επί το τετράγωνο του μέτρου της ταχύτητας του σώματος. Δηλαδή η κινητική ενέργεια, K , ενός σώματος μάζας m το οποίο έχει μέτρο ταχύτητας u ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$K = \frac{1}{2} m u^2 \quad (5.1.5)$$

- Ορίζουμε ότι η **δυναμική ενέργεια** ενός σώματος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η αποθηκευμένη ενέργεια η οποία μπορεί να παράγει έργο η να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια.

Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας: Όταν η δύναμη που παράγει έργο είναι διατηρητική, τότε η ολική μηχανική ενέργεια του συστήματος παραμένει σταθερή ή, ισοδύναμα, εάν η κινητική ενέργεια ενός διατηρητικού συστήματος αυξηθεί (ή μειωθεί) κατά μία ποσότητα τότε η δυναμική ενέργεια μειώνεται (ή αυξάνεται) κατά τον ίδιο τρόπο. Εάν ορίσουμε την ολική μηχανική ενέργεια του συστήματος, E , ως το άθροισμα της κινητικής ενέργειας συν την δυναμική ενέργεια, μπορούμε να εκφράσουμε την διατήρηση της ενέργειας ως εξής :

$$E_i = E_f \quad (5.1.6)$$

Όπου

$$E \equiv K + U \quad (5.1.7)$$

Όργανα μετρήσεων

- *Φωτοπόλες*



- *Μοιρογνωμόνιο*
- *Κανόνας*
- *Συσκευή ένδειξης των αποτελεσμάτων μέτρησης των φωτοπυλών*



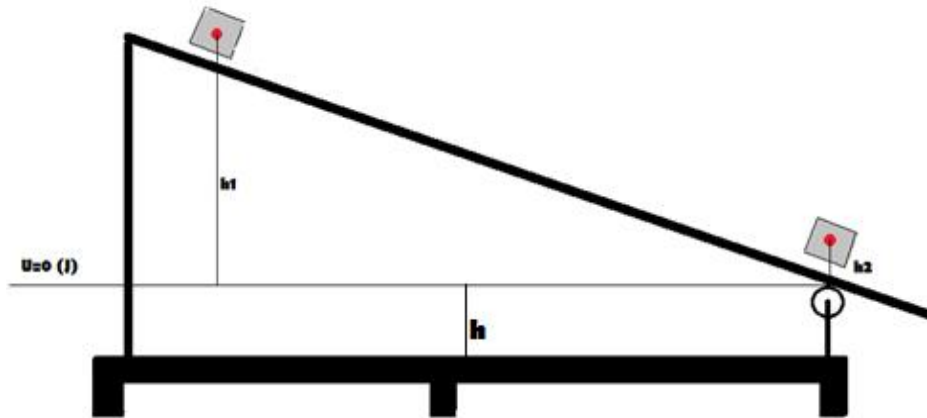
- *Αμαξίδια*



Πειραματική Διαδικασία

1. Σύνδεση των φωτοπυλών με την συσκευή ένδειξης
2. Ανοψώνουμε την ράγα σε ύψος $h_1 = 395\text{mm}$ προκειμένου να επιτευχθεί κλίση 20° . Επαληθεύουμε την κλίση με την χρήση μοιρογνωμονίου στο κάτω άκρο του διαδρόμου, στο σημείο επαφής διαδρόμου και ραούλου.
3. Τοποθέτηση των φωτοπυλών στις κατάλληλες θέσεις για μέτρηση, πάνω στις ειδικές βάσεις.
4. Τοποθέτηση κεραιών στο αμαξίδιο και μέτρηση τις απόστασης τους (s).
5. Ζύγιση αμαξιδίων και καταγραφή της μάζας (m).
6. Επάληψη των πλαϊνών της ράγας και των αμαξιδίων με λάδι για την ελαχιστοποίηση των τριβών.
7. Εκκίνηση του πειράματος και καταγραφή των αποτελεσμάτων του χρόνου στον πίνακα 1.

8. Υπολογισμός των στηλών 2 έως 5 του πίνακα 1 με βάση τις εξισώσεις 1 έως 7 τις παραπάνω θεωρίας.
9. Υπολογίστε και καταγράψτε ενδεικτικά για την πρώτη μέτρηση τα μέγιστα σφάλματα.
10. Υπολογίστε την μέση τιμή και το σφάλμα της κινητικής ενέργειας.



Σχήμα 5.1.2: Πειραματική αναπαράσταση

Πίνακας 1

a/a	$\Delta t \pm \delta(\Delta t)$ (msec)	$u \pm \delta u$ (m/s)	$K \pm \delta K$ (J)	$U \pm \delta U$ (J)	$W \pm \delta W$ (J)
1	27.781±0.001	2.160±0.02	0.975±0.02	1.107±0.002	0.132
2	26.235	2.287	1.093	1.107	0.014
3	27.813	2.157	0.973	1.107	0.135
4	26.155	2.294	1.100	1.107	0.007
5	27.176	2.208	1.019	1.107	0.088
6	26.569	2.258	1.066	1.107	0.041
7	26.843	2.235	1.044	1.107	0.063
8	27.880	2.152	0.968	1.107	0.139
9	26.446	2.269	1.076	1.107	0.031
10	27.089	2.215	1.025	1.107	0.082

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται να υπάρχουν απώλειες λόγω τριβών που εμφανίζονται στην τελευταία στήλη.

Πίνακας Δεδομένων

$h_1 \pm \delta h_1$	$(290.0 \pm 0.5) \text{ mm}$
$h_2 \pm \delta h_2$	$(20.0 \pm 0.5) \text{ mm}$
$s \pm \delta s$ (απόσταση κεραιών αμαξιδίου)	$(60.0 \pm 0.5) \text{ mm}$
$m \pm \delta m$	$(0.41800 \pm 0.00005) \text{ kg}$
g	9.81 m/s^2

Επεξήγηση: Οι τιμές των μετρήσεων για τα ύψη (h_1, h_2) προέκυψαν χρησιμοποιώντας ως αρχή μέτρησης την βάση έως και τα κέντρα μάζας των αμαξιδίων, αφαιρώντας από αυτές το ύψος ($h=105\text{mm}$) όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

$$h_1 = 395 - 105 = 290 \text{ mm}$$

$$h_2 = 125 - 105 = 20 \text{ mm}$$

Τα σφάλματα στον πίνακα δεδομένων προέκυψαν σύμφωνα με την θεωρία του εργαστηρίου [6] και συγκεκριμένα το μισό της ελάχιστης υποδιαίρεσης για αναλογικό μετρητικό όργανο και η ελάχιστη υποδιαίρεση για ψηφιακό μετρητικό όργανο.

Τα αποτελέσματα του πίνακα 1 προέκυψαν από τις παρακάτω πράξεις. Ενδεικτικές πράξεις για την πρώτη μέτρηση.

- $u = \frac{s}{\Delta t} = \frac{60 \text{ mm}}{27.781 \text{ msec}} = 2.160 \text{ m/s}$
- $K = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.418 \text{ kg} \cdot (2.160)^2 = 0.975 \text{ J}$
- $U = m g \Delta h = 0.418 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (h_1 - h_2) =$
 $= 0.418 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 270 \text{ mm} = 1.107 \text{ J}$
- $W = U - K = 1.107 \text{ J} - 0.975 \text{ J} = 0.132 \text{ J}$

Τα μέγιστα (έμμεσα) σφάλματα του πίνακα 1 υπολογίστηκαν με βάση τη θεωρία μετάδοσης σφάλματος [6] και συγκεκριμένα:

$$\delta u = u \left[\left| 1 \right| \frac{\delta s}{s} + \left| -1 \right| \frac{\delta t}{t} \right] = \pm 0.02 \text{ m/s}$$

$$\delta K = K \left[\left| 1 \right| \frac{\delta m}{m} + \left| 2 \right| \frac{\delta u}{u} \right] = \pm 0.02 \text{ J}$$

$$\delta U = U \left[\left| 1 \right| \frac{\delta m}{m} + \left| 1 \right| \frac{\delta h}{h} \right] = \pm 0.002 \text{ J}$$

$$\delta W = \delta U + \delta K = \pm 0.02 \text{ J}$$

Η μέση τιμή της κινητικής ενέργειας K , προκύπτει με την βοήθεια του ακόλουθου πίνακα, και με βάση την θεωρία σφαλμάτων του εργαστηρίου Ειδικών μαθημάτων Φυσικής [6]:

a/a	K_i (J)	$\langle K \rangle$ (J)	$K_i - \langle K \rangle$ (J)	$(K_i - \langle K \rangle)^2$ (J ²)	σ_K (J)
1	0.975		-0.059	3.4768E-03	
2	1.093		0.059	3.5187E-03	
3	0.973		-0.061	3.7463E-03	
4	1.100		0.066	4.3581E-03	
5	1.019	1.034	-0.015	2.2726E-04	0.015857
6	1.066		0.032	1.0244E-03	
7	1.044		0.010	1.0729E-04	
8	0.968		-0.066	4.3396E-03	
9	1.076		0.042	1.7593E-03	
10	1.025		-0.009	7.2606E-05	
Σ				2.2630E-02	

όπου χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x} - x_i)^2}{N(N-1)}}$$

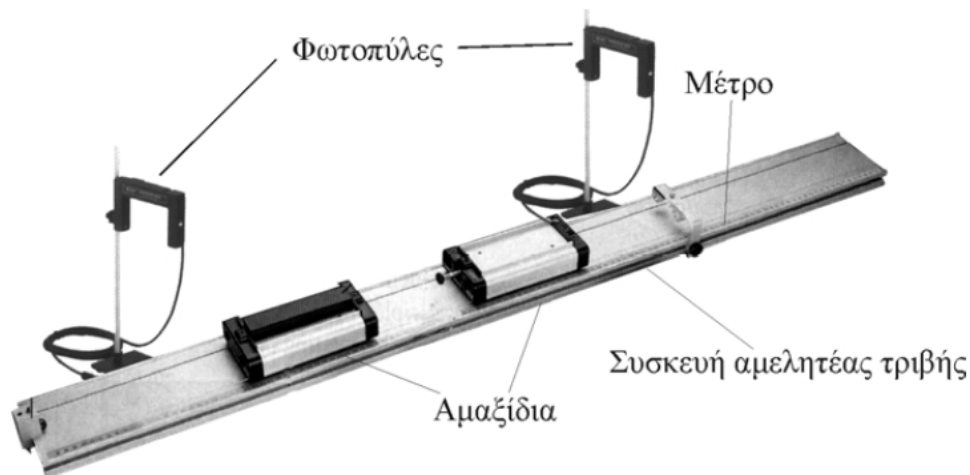
Άρα η μέση τιμή της κινητικής ενέργειας είναι:

$$\bar{K} \pm \sigma_{\bar{K}} = 1.034 \pm 0.0158 \approx (1.03 \pm 0.02) \text{ J}$$

Η μέση κινητική ενέργεια \bar{K} διαφέρει από την αρχική δυναμική ενέργεια κατά $\Delta E = 0.077 \text{ J}$. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο ότι ο διάδρομος δεν είναι λείος με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μη μηδενικό έργο τριβών (W), ίσο με την διαφορά ενέργειας, $\Delta E = W$.

5.2 Πείραμα 2: Αρχή διατήρηση της ορμής – Κρούσεις

ΠΕΙΡΑΜΑ 2: Αρχή διατήρηση της ορμής - Κρούσεις



Σχήμα 5.2.1: Ενδεικτική πειραματική συσκευή

Τίτλος: «Αρχή διατήρηση της ορμής – πειράματα κρούσεων»

Σκοπός: Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιείται συσκευή που έχει σκοπό να επαληθεύσει την αρχή διατήρησης της ορμής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του χρόνου για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ενός ή κατά περίπτωση και του συσσωματώματος των αμαξιδίων, καθώς και της κινητικής ενέργειας αυτών.

Θεωρία: Για την διεξαγωγή του πειράματος είναι απαραίτητη η γνώση και η εφαρμογή ορισμένων βασικών εννοιών της θεωρίας. Στην συνέχεια παραθέτονται οι κυριότερες από αυτές ακολουθούμενες από τις μαθηματικές τους εξισώσεις.

Στιγμαία ταχύτητα: u , είναι ίση με το όριο του $\Delta x/\Delta t$, καθώς το Δt τείνει προς το μηδέν:

$$u \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.2.1)$$

Μέση ταχύτητα: Ισούται με τον λόγο της μετατόπισης, (Δx), δια του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος (Δt)

$$\bar{U} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (5.2.2)$$

Κινητική ενέργεια :Ορίζουμε ότι η κινητική ενέργεια ενός σώματος είναι ίση με το γινόμενο του μισού της μάζας επί το τετράγωνο του μέτρου της ταχύτητας του σώματος. Δηλαδή η κινητική ενέργεια, K , ενός σώματος μάζας m το οποίο έχει μέτρο ταχύτητας u ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$K = \frac{1}{2} m u^2 \quad (5.2.3)$$

Κρούση: Θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο **κρούση** για να περιγράψουμε την προσέγγιση των δυο σωμάτων επί ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, κατά το οποίο ασκούνται δυνάμεις ώθησης από το ένα σώμα στο άλλο.

Ορμή: Ορίζουμε ότι η γραμμική ορμή ενός σώματος μάζας m το οποίο κινείται με ταχύτητα u είναι ίση με το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα :

$$p = m u \quad (5.2.4)$$

Αρχή διατήρησης της ορμής για τις κρούσεις : σε οποιοδήποτε κρούση, η ολική ορμή του συστήματος λίγο πριν από την κρούση είναι ίση με την ολική ορμή του συστήματος λίγο μετά από την κρούση, διότι η ολική ορμή ενός απομονωμένου συστήματος είναι οποιαδήποτε στιγμή η ίδια.

Ελαστική κρούση: Ορίζουμε την ελαστική κρούση ως κρούση κατά την οποία διατηρούνται η ορμή και η κινητική ενέργεια. Οι τελικές εξισώσεις που προκύπτουν εφαρμόζοντας την ΑΔΕ και την ΑΔΟ (βλέπε κεφάλαιο 3, εξ. 3.17-3.18), είναι:

$$u_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{2i} \quad (5.2.5)$$

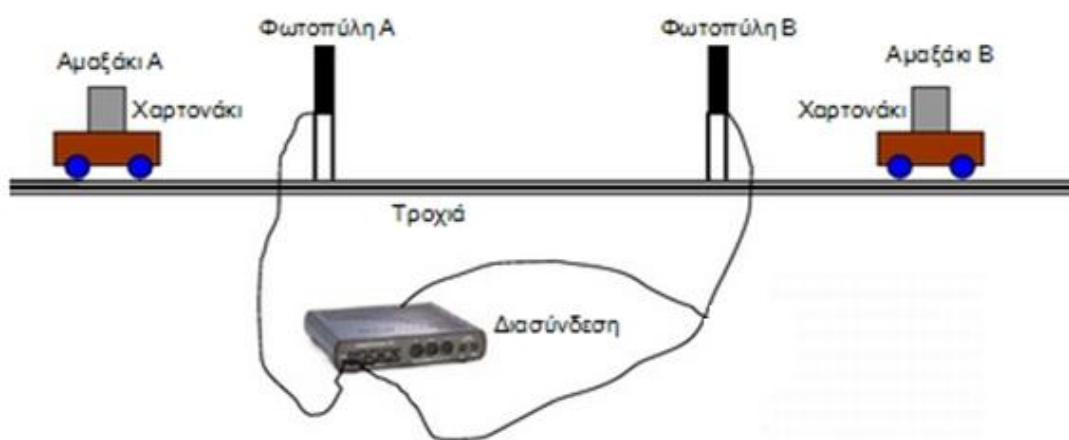
$$u_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{2i} \quad (5.2.6)$$

Μη ελαστική κρούση (πλαστική) : Μη ελαστική κρούση έχουμε όταν η ορμή διατηρείται αλλά όχι και η κινητική ενέργεια, οπότε μας είναι πιο εύκολο να εφαρμόσουμε τον νόμο διατήρησης της ορμής.

Θεωρήστε ότι δυο σώματα με μάζες m_1 και m_2 κινούνται με ταχύτητες u_{1i} και u_{2i} , αντίστοιχα, σε ευθεία γραμμή. Εάν τα δυο σώματα κολλήσουν μεταξύ τους και κινηθούν με κοινή ταχύτητα u_f μετά την κρούση, τότε μόνον η ορμή διατηρείται. Λέμε, λοιπόν, ότι η ολική ορμή πριν από την κρούση ισούται με την ολική ορμή μετά την κρούση, αφού η ολική ορμή παραμένει σταθερή συνεχώς (και κατά την διάρκεια της κρούσης) δηλαδή

$$m_1 u_{1i} + m_2 u_{2i} = (m_1 + m_2) u_f \quad (5.2.7)$$

$$u_f = \frac{m_1 u_{1i} + m_2 u_{2i}}{m_1 + m_2} \quad (5.2.8)$$



Σχήμα 5.2.2: Πειραματική αναπαράσταση

Όργανα μετρήσεων

- Φωτοπύλες



- Αλφάδι
- Κανόνας
- Συσκευή ένδειξης των αποτελεσμάτων μέτρησης των φωτοπυλών

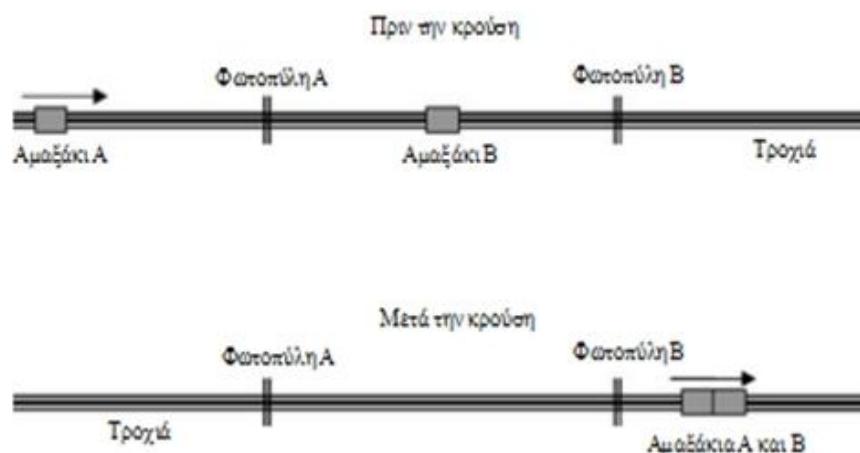


- Αμαξίδια



Πειραματική Διαδικασία

1. Σύνδεση των φωτοπυλών με την συσκευή ένδειξης
2. Οριζοντιοποιούμε την ράγα προκειμένου η ένδειξη του αλφαδιού να είναι εκείνη που προσδίδει την απαραίτητη επιπεδότητα.
3. Τοποθέτηση των φωτοπυλών στις κατάλληλες θέσεις για μέτρηση πάνω στις ειδικές βάσεις.
4. Τοποθέτηση κεραιών στα αμαξίδια και μέτρηση τις απόστασης τους (s).
5. Ζύγιση αμαξιδίων και καταγραφή της μάζας (m).
6. Επάληψη των πλαϊνών της ράγας και των αμαξιδίων με λάδι για την ελαχιστοποίηση των τριβών.
7. Εκκίνηση του πειράματος και καταγραφή των αποτελεσμάτων του χρόνου στον πίνακα 1 για την ελαστική κρούση και στον πίνακα 2 για την πλαστική.
8. Υπολογισμός των στηλών 2 έως 5 του πίνακα 1 με βάση τις εξισώσεις 1 έως 6 τις παραπάνω θεωρίας.
9. Υπολογίστε και καταγράψτε ενδεικτικά για την πρώτη μέτρηση τα μέγιστα σφάλματα.
10. Στην περίπτωση της πλαστικής κρούσης συμπληρώστε τον πίνακα 3 για αυξανόμενης αρχικής ταχύτητας του αμαξιδίου A και σχεδιάστε γραφική παράσταση της απώλειας της κινητικής ενέργειας (ΔK) συναρτήσει της αρχικής κινητικής ενέργειας (K) του αμαξιδίου A. Τι παρατηρείτε;



Σχήμα 5.1.3: Πειραματική διαδικασία δύο χρονικών στιγμιότυπων:

α) πριν την κρούση και β) μετά την κρούση

Πίνακας 1 (Ελαστική κρούση)

a/a	$t_{ολ} \pm \delta t$ (sec)	$t_1 \pm \delta t$ (sec)	$t_2 \pm \delta t$ (sec)	$u_1 \pm \delta u$ (m/s)	$u'_2 \pm \delta u$ (m/s)	$u'_1 \pm \delta u$ (m/s)	$\Delta K \pm \delta \Delta K$ (J)
1	25.769±0.001	12.716±0.001	13.053±0.002	0.629±0.04	0.613±0.04	0.016±0.08	0.004±0.02
2	23.511	11.531	11.980	0.694	0.043	0.668	0.042
3	24.679	12.243	12.436	0.653	0.041	0.643	0.040
4	20.945	10.481	10.464	0.763	0.048	0.765	0.048
5	21.655	10.850	10.805	0.737	0.046	0.740	0.046
6	24.559	12.190	12.369	0.656	0.041	0.647	0.040
7	18.712	9.408	9.304	0.850	0.053	0.860	0.054
8	22.950	11.230	11.720	0.712	0.045	0.683	0.043
9	17.344	8.630	8.714	0.927	0.058	0.918	0.057
10	16.864	8.417	8.447	0.950	0.060	0.947	0.059

Τα σφάλματα στον πίνακα δεδομένων προέκυψαν σύμφωνα με την θεωρία του εργαστηρίου [6] και συγκεκριμένα το μισό της ελάχιστης υποδιαίρεσης για αναλογικό μετρητικό όργανο και η ελάχιστη υποδιαίρεση για ψηφιακό μετρητικό όργανο.

Τα αποτελέσματα του πίνακα 1 προέκυψαν από τις παρακάτω πράξεις. Ενδεικτικές πράξεις για την πρώτη μέτρηση.

- $t_2 = t_{ολ} - t_1 = 25.769ms - 12.716\pm ms = 13.053ms$
- $u_1 = \frac{s}{t_1} = \frac{8mm}{12.716ms} = 0.629m/s$, ομοίως και το $u_2' = 0.613m/s$
- Από την ΑΔΟ εξ (5.2.6): $u_1' = u_1 - u_2' = 0.016m/s$
- $K_{πριν} = \frac{1}{2} m u_1^2 = \frac{1}{2} 0.418kg (0.629)^2 = 0.083 J$
- $K_{μετά} = \frac{1}{2} m u_1'^2 + \frac{1}{2} m u_2'^2 = \frac{1}{2} 0.418kg (0.016^2 + 0.613^2) = 0.079 J$

Από τις παραπάνω μετρήσεις παρατηρούμε μικρές απώλειες στις κινητικές ενέργειες πριν και μετά την κρούση που οφείλονται αφενός σε σφάλματα ανάγνωσης του μετρητή της συσκευής καταγραφής του χρόνου διέλευσης των αμαξιδίων από τις φωτοπύλες, καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα να αποθηκευτεί η πρώτη μέτρηση και αφετέρου στο μεγάλο σφάλμα μέτρησης της ταχύτητας u_1' όπως φαίνεται και στους υπολογισμούς παρακάτω.

Τα μέγιστα (έμμεσα) σφάλματα του πίνακα 1 υπολογίστηκαν με βάση τη θεωρία μετάδοσης σφάλματος [6] και συγκεκριμένα:

$$\delta t_2 = \delta t_{ολ} + \delta t_1 = \pm 0.002s$$

$$\delta u_1 = u_1 \left[\left| 1 \right| \frac{\delta s}{s} + \left| -1 \right| \frac{\delta t}{t_1} \right] = \pm 0.04m/s$$

$$\delta u_2 = u'_2 \left[\left| 1 \right| \frac{\delta s}{s} + \left| -1 \right| \frac{\delta t}{t_2} \right] = \pm 0.04 \text{ m/s}$$

$$\delta u'_1 = \delta u_1 + \delta u'_2 = \pm 0.08 \text{ s}$$

$$\delta K = K \left[\left| 1 \right| \frac{\delta m}{m} + \left| 2 \right| \frac{\delta u}{u} \right] = \pm 0.01 \text{ J}$$

$$\delta \Delta K = \delta K + \delta K' = \pm 0.02 \text{ J}$$

Με βάση τα ανωτέρω οι μετρήσεις γράφονται ορθά:

$$u_1 \pm \delta u_1 = (0.63 \pm 0.04) \text{ m/s}$$

$$u_1' \pm \delta u_1' = (0.61 \pm 0.04) \text{ m/s}$$

$$u_2' \pm \delta u_2' = (0.02 \pm 0.08) \text{ m/s}$$

$$K \pm \delta K = (0.08 \pm 0.02) \text{ J}$$

$$K' \pm \delta K' = (0.08 \pm 0.02) \text{ J}$$

Πίνακας 2: (Πλαστική κρούση)

a/a	t₁ ± δt (sec)	u₁ ± δu₁ (m/s)	u₂ ± δu₂ (m/s)	K ± δK (J)	K' ± δK' (J)	ΔK ± δΔK (J)
1	7.494 ± 0.001	1.068 ± 0.07	0.534 ± 0.04	0.238 ± 0.03	0.028 ± 0.007	0.060 ± 0.04
2	7.611	1.051	0.526	0.231	0.028	0.058
3	6.698	1.194	0.597	0.298	0.031	0.075
4	6.829	1.171	0.586	0.287	0.031	0.072
5	6.946	1.152	0.576	0.277	0.030	0.069
6	6.595	1.213	0.607	0.308	0.032	0.077
7	6.625	1.208	0.604	0.305	0.032	0.076
8	6.925	1.155	0.578	0.279	0.030	0.070
9	7.645	1.046	0.523	0.229	0.027	0.057
10	6.151	1.301	0.650	0.354	0.034	0.088

Τα σφάλματα στον πίνακα δεδομένων προέκυψαν σύμφωνα με την θεωρία του εργαστηρίου [6] και συγκεκριμένα το μισό της ελάχιστης υποδιαίρεσης για αναλογικό μετρητικό όργανο και η ελάχιστη υποδιαίρεση για ψηφιακό μετρητικό όργανο.

Τα αποτελέσματα του πίνακα 1 πρόεκυψαν από τις παρακάτω πράξεις. Ενδεικτικές πράξεις για την πρώτη μέτρηση.

- $u_1 = \frac{s}{t_1} = \frac{8mm}{7.494ms} = \mathbf{1.068m/s}$,
- Από την ΑΔΟ εξ (5.2.8): $u_\Sigma = m_1 \cdot u_1 / m_\Sigma = 0.534m/s$
- $K_{\pi\rho\nu} = \frac{1}{2} m u_1^2 = \frac{1}{2} \mathbf{0.418kg} (\mathbf{1.068})^2 = \mathbf{0.238 J}$
- $K_{\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}} = \frac{1}{2} m u_\Sigma^2 = \frac{1}{2} \mathbf{0.836kg} (\mathbf{0.534}^2) = \mathbf{0.028 J}$
- Απώλειες $\Delta K = K_{\pi\rho\nu} - K_{\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}} = \mathbf{0.060J}$

Τα μέγιστα (έμμεσα) σφάλματα του πίνακα 1 υπολογίστηκαν με βάση τη θεωρία μετάδοσης σφάλματος [6] και συγκεκριμένα:

$$\delta m_\Sigma = \delta m_1 + \delta m_2 = \pm 0.0001 \text{Kg}$$

$$\delta u_1 = u_1 \left[\left| 1 \right| \frac{\delta s}{s} + \left| -1 \right| \frac{\delta t}{t_1} \right] = \pm 0.07 \text{m/s}$$

$$\delta u_\Sigma = u_\Sigma \left[\left| 1 \right| \frac{\delta m}{m} + \left| 1 \right| \frac{\delta u_1}{u_1} + \left| -1 \right| \frac{\delta m_\Sigma}{m_\Sigma} \right] = \pm 0.03 \text{m/s}$$

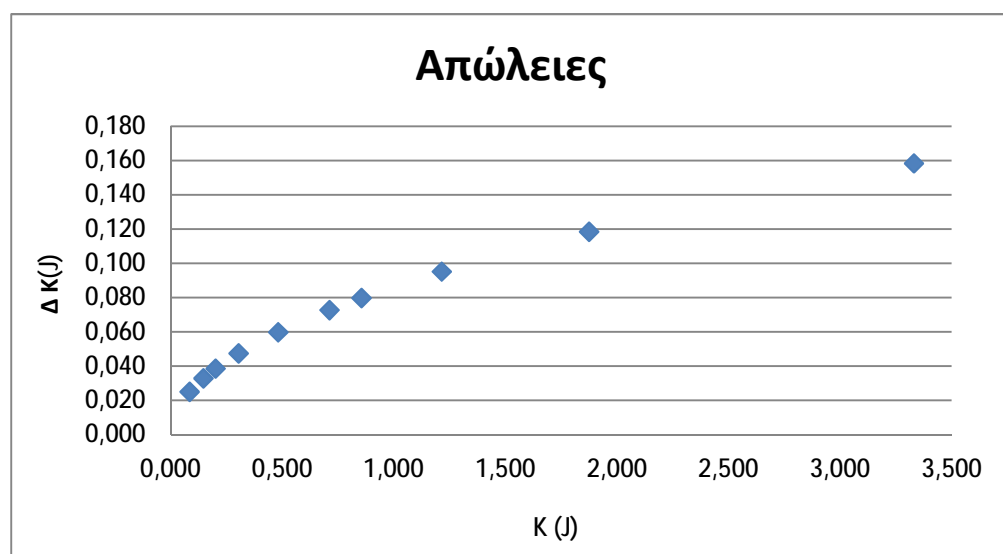
$$\delta K = K \left[\left| 1 \right| \frac{\delta m}{m} + \left| 2 \right| \frac{\delta u_1}{u_1} \right] = \pm 0.03 \text{J}$$

$$\delta K' = K' \left[\left| 1 \right| \frac{\delta m_\Sigma}{m_\Sigma} + \left| 2 \right| \frac{\delta u_\Sigma}{u_\Sigma} \right] = \pm 0.007 \text{J}$$

$$\delta \Delta K = \delta K + \delta K' = \pm 0.04 \text{J}$$

Πίνακας 3: (Πλαστική κρούση-γραφική)

a/a	$t_1 \pm \delta t$ (sec)	$u_1 \pm \delta u_1$ (m/s)	$u_2 \pm \delta u_2$ (m/s)	$K \pm \delta K$ (J)	$K' \pm \delta K'$ (J)	$\Delta K \pm \delta \Delta K$ (J)
1	2.004±0.001	3.992±0.2	1.996±0.1	3.331±0.1	0.106±0.05	2.498±0.2
2	2.671	2.995	1.498	1.875	0.079	1.406
3	3.318	2.411	1.206	1.215	0.063	0.911
4	3.954	2.023	1.012	0.856	0.053	0.642
5	4.334	1.846	0.923	0.712	0.048	0.534
6	5.267	1.519	0.759	0.482	0.040	0.362
7	6.625	1.208	0.604	0.305	0.032	0.229
8	8.143	0.982	0.491	0.202	0.026	0.151
9	9.544	0.838	0.419	0.147	0.022	0.110
10	12.501	0.640	0.320	0.086	0.017	0.064



Με βάση την παραπάνω γραφική παρατηρείται πως η αύξηση της αρχικής ταχύτητας του αμαξιδίου Α οδηγεί σε αύξηση των απωλειών της κινητικής ενέργειας (ΔK).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.Συμπεράσματα

Τελειοποιώντας την πειραματική μας διάταξη και πραγματοποιώντας μια σειρά πειραμάτων και δοκιμών, συμπεράναμε την άρρηκτη σχέση μεταξύ πειράματος και θεωρίας. Δεν μπορεί να υπάρξει θεωρία χωρίς πείραμα, αλλά ούτε και πείραμα χωρίς τη θεωρία. Η θεωρία μπορεί είτε να προηγείται είτε να έπεται της πειραματικής διαδικασίας ανάλογα με τους στόχους που θέλουμε να εξυπηρετήσουμε κάθε φορά

Στην παρούσα πτυχιακή προσπαθήσαμε να επαληθεύσουμε νόμους της φυσικής όπως η διατήρηση της μηχανικής ενέργειας και η διατήρηση της ορμής. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας μας, μπορούμε να πούμε πως κρίνεται ικανοποιητικό τόσο για εμάς όσο και για την κάλυψη των στόχων που τέθηκαν ως βάση για την δημιουργία αυτής της πτυχιακής.

Προσπαθήσαμε, αφενός να ολοκληρώσουμε τον κύκλο της φοιτητικής μας πορείας με όσο τον δυνατόν καλύτερο τρόπο και αφετέρου να προσφέρουμε κάτι ουσιαστικό και ενδιαφέρον στην εκπαιδευτική διαδικασία του τμήματος μας.

Συγκεκριμένα κατασκευάσαμε μια πειραματική διάταξη ικανή να μελετήσει βασικούς νόμους της Φυσικής, όπως η αρχή διατήρησης ενέργειας (ΑΔΕ) και η αρχή διατήρησης της ορμής (ΑΔΟ). Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε διάταξη που να περιλαμβάνει λείο διάδρομο πάνω στον οποίο να μπορούν να ολισθαίνουν αμαξίδια. Μεγάλη έμφαση δόθηκε στην κατασκευή του διαδρόμου, ώστε να είναι άκαμπος, λείος και με δυνατότητα να μπορεί να λαμβάνει διάφορες κλίσεις πέρα της οριζόντιας. Η στήριξη της κατασκευής έγινε σε ξύλινη βάση, αφενός για την ασφάλεια λειτουργίας της και αφετέρου για ομοιομορφία με το εργαστήριο Φυσικής όπου και εντάχθηκε.

Το επόμενο βήμα της κατασκευής της διάταξης είναι ο σχεδιασμός κατάλληλων πειραμάτων μέσω των οποίων να γίνουν και οι τελικές ρυθμίσεις καθώς και η πιστοποίηση των ορθών πειραματικών μετρήσεων. Αρχικά επιλέξαμε να μελετήσουμε την μεταβολή της ενέργειας καθώς ένα αμαξίδιο ολισθαίνει στον κεκλιμένο διάδρομο. Τα πειράματα στέφθηκαν με απόλυτη επιτυχία αν και λόγω του ότι ο διάδρομος δεν ήταν απόλυτα λείος (όπως π.χ. διάδρομός με παροχή αέρα), εμφανίζεται μικρή απώλεια ενέργειας μεταξύ των μετρούμενων θέσεων λόγω του έργου των τριβών. Παρόλα αυτά το συγκεκριμένο πείραμα μπορεί να ενταχθεί επιτυχώς στο εργαστήριο στην μορφή που εμφανίζεται στο παράρτημα 2. Στην συνέχεια μελετήσαμε σε οριζόντιο διάδρομο κρούσεις, και συγκεκριμένα ελαστική και πλαστική με χρήση και των δύο αμαξιδίων που διατίθενται. Και τα δυο πειράματα ήταν επιτυχή και δύναται να ενταχθούν στο εργαστήριο υπό την μορφή που εμφανίζονται στο παράρτημα 3. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί από τους πειραματιστές στην ελαστική κρούση καθώς χρειάζονται δύο μετρήσεις για τους χρόνους διέλευσης από τις φωτοπύλες την στιγμή που ο μετρητής δύναται να

καταγράφει μόνο την μία. Έτσι θα πρέπει να συμμετέχουν τουλάχιστον 2 πειραματιστές έτσι ώστε ο ένας να καταγράφει τις ενδείξεις στο χρονικό περιθώριο που του επιτρέπει η συσκευή καταγραφής (βλέπε παράρτημα 1).

Ως μελλοντική εργασία προτείνουμε βελτίωση της πειραματικής συσκευής με επιπλέον φωτοπύλες και προτάσεις για σχεδιασμό νέων πειραμάτων, όπως μελέτη τριβών, ώθησης, κ.ο.κ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία-Πηγές

- [1] “Physics for scientists & engineers”, 3rd Edition Τόμος I, Serway, Εκδόσεις Saunders College Publising, Ελληνική Μετάφραση: Λ. Ρεσβάνη.
- [2] “ Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμοι Α και Β” Ελληνική Μετάφραση. Young .H .D. Εκδόσεις Παπαζήση
- [3] Φυσική, Halliday-Resnick, Εκδόσεις Πνευματικός Γ.Α.
- [4] Εφαρμοσμένη Φυσική, Ν.Νανούσης, Εκδόσεις Μακεδονικές
- [5] Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής, Σ. Καπλάνης, Ν.Νανούσης, Εκδόσεις Λύχνος
- [6] Σημειώσεις εργαστηρίου «Ειδικών Μαθημάτων Φυσικής», τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- [7] <http://eclass.teipat.gr/eclass/index.php?logout=yes>
- [8] www.wikipedia.gr
- [9] www.google.gr
- [10] www.teipir.gr
- [11] www.teipat.gr
- [12] www.selenlab.gr

Παραρτήματα

Παράρτημα 1: Οδηγίες χρήσης φωτοπυλών



INTRODUCTION

Five Digit Digital Timer is capable to read the time duration from 1m Sec. to 99999 seconds in different modes. The decimal point changes automatically as the time counting progresses. The display time in m Seconds, Milli Seconds & Seconds is indicated by the glow of Red Leds provided on the L.H.S of front panel.



SALIENT FEATURES

- ! Measures time from 1m Sec. to 99999 Seconds.
- ! Two modes of operation:
Mode A: Continuous counting, stops on interruption only.
Mode B: Duration counting or Interruption time.
- ! Reset Switch: The timer is reset on pressing this Push Switch.
- ! Start Switch: The timer starts counting on the pressing this Push Switch & stops on pushing Second time, this is valid in Mode A.
The same is true about the second Start Switch provided in the "g by Free Fall Block".

! "g by Free Fall" On the rear Panel + 12V DC is provided for "g by Free Fall Apparatus" & Micro switch N/O connections are also provided.

PHOTOGATES

Two sockets #1 & #2 are provided for connecting the Photogates on the rear Panel.

VOLTAGE SELECTOR SWITCH

Input voltage selector Switch is provided on the rear Panel for selecting the input voltage 220V or 120V, 50/60HZ with the help of Slide Switch.

OPERATION

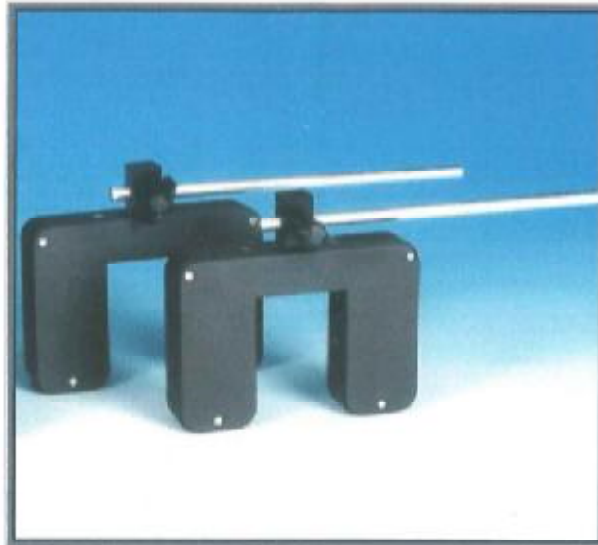
First of all select the Mains I/P either 120V or 220V, 50/60 HZ with the help of selector switch provided on the rear Panel by putting the Selector Switch at the appropriate position. Then connect the mains lead to the mains Input Socket.

☞ Δρίζη Lab ☞

Εργαστηριακός Εξοπλισμός

Κωδ.: ΓΕ.162.0

Πύλες Φωτός για Ψηφιακά Χρονόμετρα



Description:

These pair of photo gates is housed in tough moulded cases giving them excellent durability. The lamps operate on 6 Volts with a special built in circuitry which prevents lamps from damage in case higher voltage is applied accidentally. The photo gates can be connected by 4 mm. sockets to a timer and power supplies.

www.selenlab.gr

Κωδ.: ΜΣ.205.1

Αμαξίδια Μεταλλικά Ζεύγος



Description:

Dynamic trolley, all metal, compact design, one end of metal body carries an integral spring plunger/ trigger system for explosion experiments, whilst the other end has a clamping screw for attaching trigger tape. Other built in facilities includes velcro pads for non elastic collisions and locating pins to permit secure stacking of two or more trolleys.

Κωδ.: ΓΕ.160.0

Εργαστηριακά Χρονόμετρα για Πύλες Φωτός



Description:

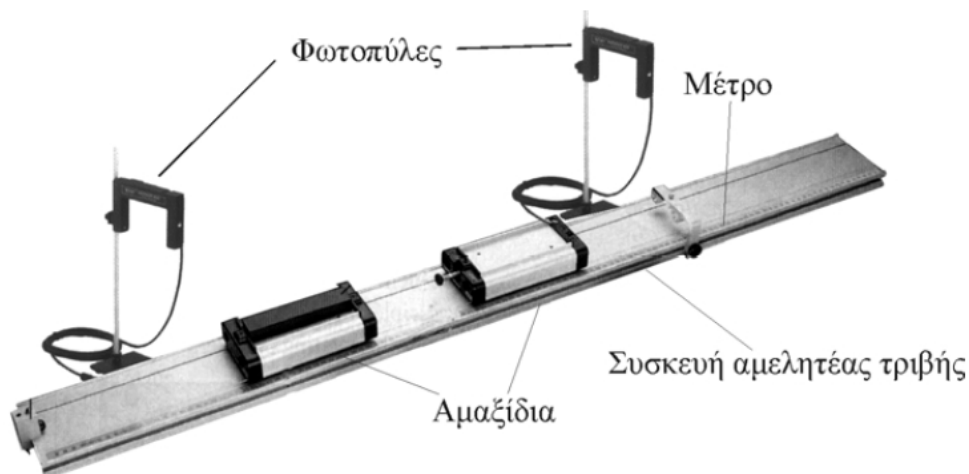
This is a versatile timer quartz crystal controlled for very high accuracy, which can be used for conducting experiments related to timing and motion with high accuracy. Can be used for G by free fall linear air tracks, dynamic trolleys etc. This timer has an in built power supply for the coil for G by free fall apparatus and lamps for photo gates.

Παράρτημα 2

Υλικό για ένταξη στο μάθημα «Ειδικά μαθήματα Φυσικής» για διανομή στους σπουδαστές.

ΠΕΙΡΑΜΑ 1: Αρχή Διατήρησης Ενέργειας

Τίτλος: «Μελέτη διατήρησης της μηχανικής ενέργειας»



Σχήμα 1: Ενδεικτική πειραματική συσκευή

Σκοπός: Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιείται συσκευή που έχει σκοπό να επαληθεύσει την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του χρόνου για τον υπολογισμό της ταχύτητας, της επιτάχυνσης και της κινητικής ενέργειας.

Θεωρία: Για την διεξαγωγή του πειράματος είναι απαραίτητη η γνώση και η εφαρμογή ορισμένων βασικών εννοιών της θεωρίας. Στην συνέχεια παραθέτονται οι κυριότερες από αυτές ακολουθούμενες από τις μαθηματικές τους εξισώσεις.

Στιγμιαία ταχύτητα: u , είναι ίση με το όριο του $\Delta x/\Delta t$, καθώς το Δt τείνει προς το μηδέν:

$$u \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.1.1)$$

Μέση ταχύτητα: Ισούται με τον λόγο της μετατόπισης, (Δx) , δια του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος (Δt)

$$\bar{U} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (5.1.2)$$

Επιτάχυνση: Ισούται με τον λόγο $\Delta u / \Delta t$, όπου $\Delta u = u_f - u_i$ είναι η μεταβολή της ταχύτητας στο ίδιο χρονικό διάστημα:

$$\bar{a} \equiv \frac{U_f - U_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta u}{\Delta t} \quad (5.1.3)$$

Έργο σταθερής δύναμης: Ισούται με το γινόμενο της συνιστώσας της δύναμης πάνω στην διεύθυνση της μετατόπισης επί το μέτρο της μετατόπισης.

Επειδή η συνιστώσα της \mathbf{F} στη διεύθυνση \mathbf{s} είναι $F \cos \theta$, το έργο \mathbf{W} της \mathbf{F} είναι

$$W \equiv (F \cos \theta) s \quad (5.1.4)$$

Ενέργεια:

- Ορίζουμε ότι η **κινητική ενέργεια** ενός σώματος είναι ίση με το γινόμενο του μισού της μάζας επί το τετράγωνο του μέτρου της ταχύτητας του σώματος. Δηλαδή η κινητική ενέργεια, K , ενός σώματος μάζας m το οποίο έχει μέτρο ταχύτητας u ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$K = \frac{1}{2} m u^2 \quad (5.1.5)$$

- Ορίζουμε ότι η **δυναμική ενέργεια** ενός σώματος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η αποθηκευμένη ενέργεια η οποία μπορεί να παράγει έργο η να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια.

Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας: Όταν η δύναμη που παράγει έργο είναι διατηρητική, τότε η ολική μηχανική ενέργεια του συστήματος παραμένει σταθερή ή, ισοδύναμα, εάν η κινητική ενέργεια ενός διατηρητικού συστήματος αυξηθεί (ή μειωθεί) κατά μία ποσότητα τότε η δυναμική ενέργεια μειώνεται (ή αυξάνεται) κατά τον ίδιο τρόπο. Εάν ορίσουμε την ολική μηχανική ενέργεια του συστήματος, E , ως το άθροισμα της κινητικής ενέργειας συν την δυναμική ενέργεια, μπορούμε να εκφράσουμε την διατήρηση της ενέργειας ως εξής :

$$E_i = E_f \quad (5.1.6)$$

Όπου

$$E \equiv K + U \quad (5.1.7)$$

Όργανα μετρήσεων

- Φωτοπύλες



- Μοιρογνωμόνιο
- Κανόνας
- Συσκευή ένδειξης των αποτελεσμάτων μέτρησης των φωτοπυλών



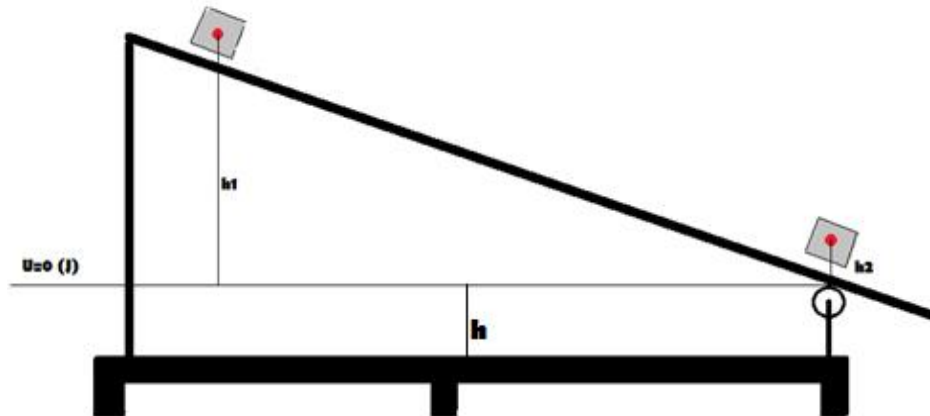
- Αμαξίδια



Πειραματική Διαδικασία

11. Σύνδεση των φωτοπυλών με την συσκευή ένδειξης
12. Ανυψώνουμε την ράγα σε ύψος $h_1 = 395\text{mm}$ προκειμένου να επιτευχθεί κλίση 20° . Επαληθεύουμε την κλίση με την χρήση μοιρογνωμονίου στο κάτω άκρο του διαδρόμου, στο σημείο επαφής διαδρόμου και ραούλου.
13. Τοποθέτηση των φωτοπυλών στις κατάλληλες θέσεις για μέτρηση, πάνω στις ειδικές βάσεις.
14. Τοποθέτηση κεραιών στο αμαξίδιο και μέτρηση τις απόστασης τους (s).
15. Ζύγιση αμαξιδίων και καταγραφή της μάζας (m).
16. Επάληψη των παινών της ράγας και των αμαξιδίων με λάδι για την ελαχιστοποίηση των τριβών.
17. Εκκίνηση του πειράματος και καταγραφή των αποτελεσμάτων του χρόνου στον πίνακα 1.

18. Υπολογισμός των στηλών 2 έως 5 του πίνακα 1 με βάση τις εξισώσεις 1 έως 7 τις παραπάνω θεωρίας.
19. Υπολογίστε και καταγράψτε ενδεικτικά για την πρώτη μέτρηση τα μέγιστα σφάλματα.
20. Υπολογίστε την μέση τιμή και το σφάλμα της κινητικής ενέργειας.



Σχήμα 2: Πειραματική αναπαράσταση

Πίνακας 1

a/a	$\Delta t \pm \delta(\Delta t)$ (msec)	$u \pm \delta u$ (m/s)	$K \pm \delta K$ (J)	$U \pm \delta U$ (J)	$W \pm \delta W$ (J)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Πίνακας Δεδομένων

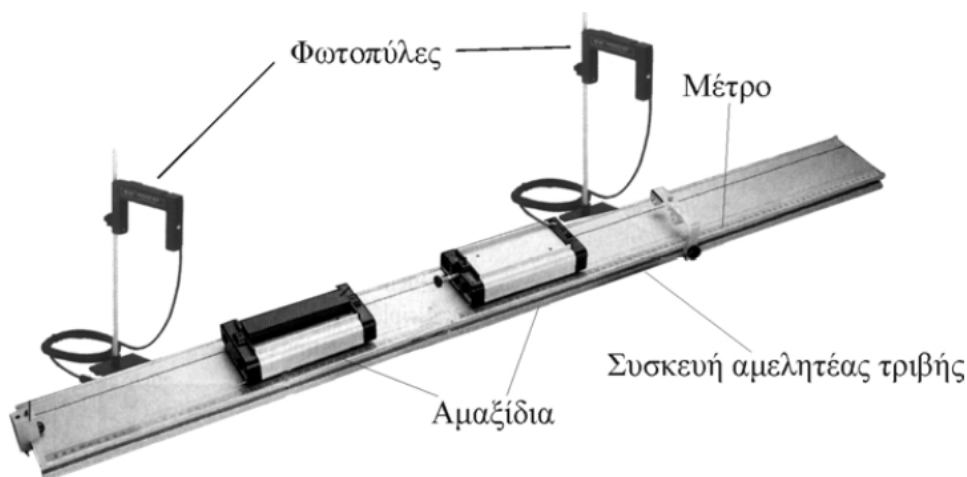
$h_1 \pm \delta h_1$	(\pm) mm
$h_2 \pm \delta h_2$	(\pm) mm
$s \pm \delta s$ (απόσταση κεραιών αμαξιδίου)	(\pm) mm
$m \pm \delta m$	(\pm) kg
g	9.81m/s^2

α/α	K_i (J)	$\langle K \rangle$ (J)	$K_i - \langle K \rangle$ (J)	$(K_i - \langle K \rangle)^2$ (J ²)	σ_K (J)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Σ					

Παράρτημα 3

Υλικό για ένταξη στο μάθημα «Ειδικά μαθήματα Φυσικής» για διανομή στους σπουδαστές.

ΠΕΙΡΑΜΑ 2: Αρχή διατήρηση της ορμής - Κρούσεις



Σχήμα 1: Ενδεικτική πειραματική συσκευή

Τίτλος: «Αρχή διατήρηση της ορμής – πειράματα κρούσεων»

Σκοπός: Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιείται συσκευή που έχει σκοπό να επαληθεύσει την αρχή διατήρησης της ορμής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του χρόνου για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ενός ή κατά περίπτωση και του συσσωματώματος των αμαξιδίων, καθώς και της κινητικής ενέργειας αυτών.

Θεωρία: Για την διεξαγωγή του πειράματος είναι απαραίτητη η γνώση και η εφαρμογή ορισμένων βασικών εννοιών της θεωρίας. Στην συνέχεια παραθέτονται οι κυριότερες από αυτές ακολουθούμενες από τις μαθηματικές τους εξισώσεις.

Στιγμιαία ταχύτητα: u , είναι ίση με το όριο του $\Delta x/\Delta t$, καθώς το Δt τείνει προς το μηδέν:

$$u \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.2.1)$$

Μέση ταχύτητα: Ισούται με τον λόγο της μετατόπισης, (Δx) , δια του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος (Δt)

$$\bar{U} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (5.2.2)$$

Κινητική ενέργεια : Ορίζουμε ότι η κινητική ενέργεια ενός σώματος είναι ίση με το γινόμενο του μισού της μάζας επί το τετράγωνο του μέτρου της ταχύτητας του σώματος. Δηλαδή η κινητική ενέργεια, K , ενός σώματος μάζας m το οποίο έχει μέτρο ταχύτητας u ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση :

$$K = \frac{1}{2} m u^2 \quad (5.2.3)$$

Κρούση: Θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο **κρούση** για να περιγράψουμε την προσέγγιση των δυο σωμάτων επί ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, κατά το οποίο ασκούνται δυνάμεις ώθησης από το ένα σώμα στο άλλο.

Ορμή: Ορίζουμε ότι η γραμμική ορμή ενός σώματος μάζας m το οποίο κινείται με ταχύτητα u είναι ίση με το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα :

$$p = m u \quad (5.2.4)$$

Αρχή διατήρησης της ορμής για τις κρούσεις : σε οποιοδήποτε κρούση, η ολική ορμή του συστήματος λίγο πριν από την κρούση είναι ίση με την ολική ορμή του συστήματος λίγο μετά από την κρούση, διότι η ολική ορμή ενός απομονωμένου συστήματος είναι οποιαδήποτε στιγμή η ίδια.

Ελαστική κρούση: Ορίζουμε την ελαστική κρούση ως κρούση κατά την οποία διατηρούνται η ορμή και η κινητική ενέργεια. Οι τελικές εξισώσεις που προκύπτουν εφαρμόζοντας την ΑΔΕ και την ΑΔΟ (βλέπε κεφάλαιο 3, εξ. 3.17-3.18), είναι:

$$u_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right) u_{2i} \quad (5.2.5)$$

$$u_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) u_{2i} \quad (5.2.6)$$

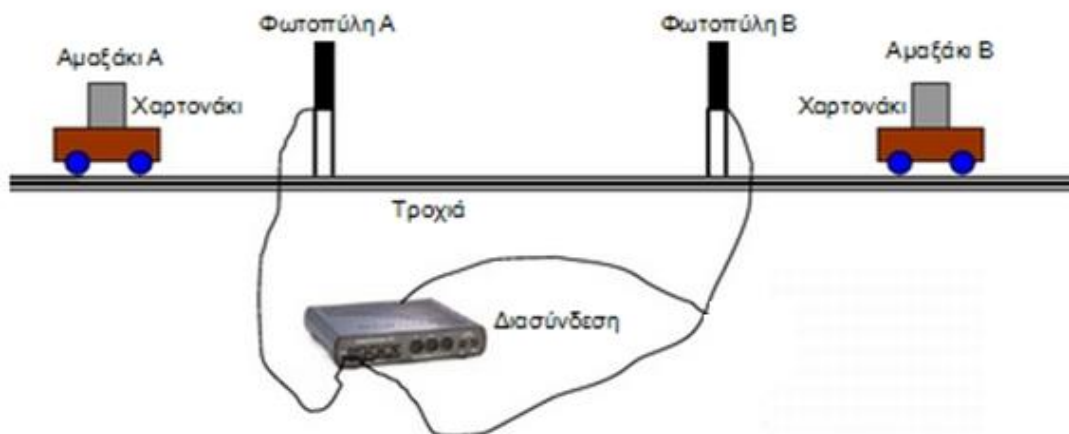
Μη ελαστική κρούση (πλαστική) : Μη ελαστική κρούση έχουμε όταν η ορμή διατηρείται αλλά όχι και η κινητική ενέργεια, οπότε μας είναι πιο εύκολο να εφαρμόσουμε τον νόμο διατήρησης της ορμής.

Θεωρήστε ότι δυο σώματα με μάζες m_1 και m_2 κινούνται με ταχύτητες \mathbf{u}_{1i} και \mathbf{u}_{2i} , αντίστοιχα, σε ευθεία γραμμή. Εάν τα δυο σώματα κολλήσουν μεταξύ τους και κινηθούν με κοινή ταχύτητα \mathbf{u}_f μετά την κρούση, τότε μόνον η ορμή διατηρείται. Λέμε, λοιπόν, ότι η ολική ορμή πριν από την κρούση ισούται με την ολική ορμή μετά

την κρούση, αφού η ολική ορμή παραμένει σταθερή συνεχώς (και κατά την διάρκεια της κρούσης) δηλαδή

$$m_1 u_{1i} + m_2 u_{2i} = (m_1 + m_2) u_f \quad (5.2.7)$$

$$u_f = \frac{m_1 u_{1i} + m_2 u_{2i}}{m_1 + m_2} \quad (5.2.8)$$



Σχήμα 2: Πειραματική αναπαράσταση

Όργανα μετρήσεων

- Φωτοπύλες



- Αλφάδι
- Κανόνας
- Συσκευή ένδειξης των αποτελεσμάτων μέτρησης των φωτοπυλών

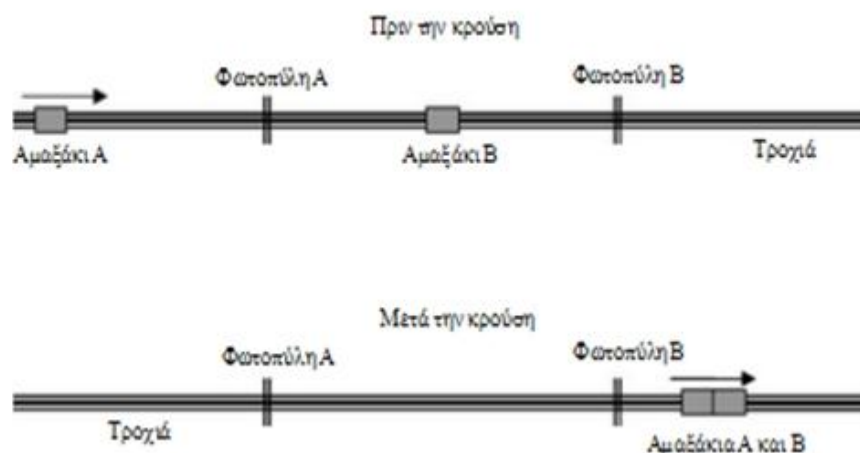


- Αμαξίδια



Πειραματική Διαδικασία

11. Σύνδεση των φωτοπυλών με την συσκευή ένδειξης
12. Οριζοντιοποιούμε την ράγα προκειμένου η ένδειξη του αλφαδιού να είναι εκείνη που προσδίδει την απαραίτητη επιπεδότητα.
13. Τοποθέτηση των φωτοπυλών στις κατάλληλες θέσεις για μέτρηση πάνω στις ειδικές βάσεις.
14. Τοποθέτηση κεραιών στα αμαξίδια και μέτρηση τις απόστασης τους (s).
15. Ζύγιση αμαξιδίων και καταγραφή της μάζας (m).
16. Επάληψη των πλαϊνών της ράγας και των αμαξιδίων με λάδι για την ελαχιστοποίηση των τριβών.
17. Εκκίνηση του πειράματος και καταγραφή των αποτελεσμάτων του χρόνου στον πίνακα 1 για την ελαστική κρούση και στον πίνακα 2 για την πλαστική.
18. Υπολογισμός των στηλών 2 έως 5 του πίνακα 1 με βάση τις εξισώσεις 1 έως 6 τις παραπάνω θεωρίας.
19. Υπολογίστε και καταγράψτε ενδεικτικά για την πρώτη μέτρηση τα μέγιστα σφάλματα.
20. Στην περίπτωση της πλαστικής κρούσης συμπληρώστε τον πίνακα 3 για αυξανόμενης αρχικής ταχύτητας του αμαξιδίου A και σχεδιάστε γραφική παράσταση της απώλειας της κινητικής ενέργειας (ΔK) συναρτήσει της αρχικής κινητικής ενέργειας (K) του αμαξιδίου A. Τι παρατηρείτε;



Σχήμα 3: Πειραματική διαδικασία δύο χρονικών στιγμιότυπων:

α) πριν την κρούση και β) μετά την κρούση

Πίνακας 1 (Ελαστική κρούση)

a/a	$t_{ολ} \pm \delta t$ (sec)	$t_1 \pm \delta t$ (sec)	$t_2 \pm \delta t$ (sec)	$u_1 \pm \delta u$ (m/s)	$u_2' \pm \delta u$ (m/s)	$u_1' \pm \delta u$ (m/s)	$\Delta K \pm \delta \Delta K$ (J)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Πίνακας 2: (Πλαστική κρούση)

a/a	$t_1 \pm \delta t$ (sec)	$u_1 \pm \delta u_1$ (m/s)	$u_2 \pm \delta u_2$ (m/s)	$K \pm \delta K$ (J)	$K' \pm \delta K'$ (J)	$\Delta K \pm \delta \Delta K$ (J)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Πίνακας 3: (Πλαστική κρούση-γραφική)

a/a	$t_1 \pm \delta t$ (sec)	$u_1 \pm \delta u_1$ (m/s)	$u_2 \pm \delta u_2$ (m/s)	$K \pm \delta K$ (J)	$K' \pm \delta K'$ (J)	$\Delta K \pm \delta \Delta K$ (J)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						