

Σ. Μανδηλιώτης, Θ. Πιερράτος, Ε. Δερμιτζάκη

Φύλλο Εργασίας

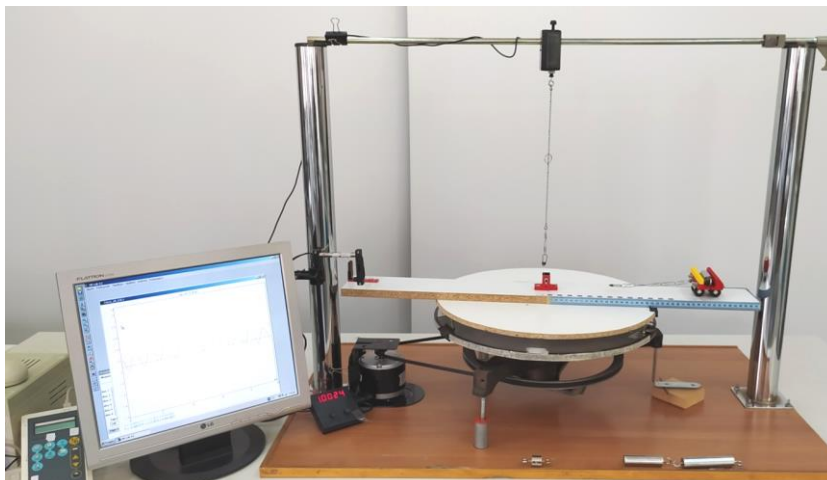
Διερεύνηση των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται το μέτρο της κεντρομόλου δύναμης που ασκείται σε ένα περιστρεφόμενο σώμα

1. Εισαγωγή

Όταν ένα σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση, η γραμμική ταχύτητά του συνεχώς μεταβάλλεται. Μολονότι το μέτρο της παραμένει σταθερό αλλάζει διαρκώς η κατεύθυνσή της, οπότε το σώμα επιταχύνεται. Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η επιτάχυνση αυτή οφείλεται στη συνισταμένη των δυνάμεων που ενεργούν στο σώμα, την οποία ονομάζουμε κεντρομόλο δύναμη ($\Sigma F = F_k$) και έχει, όπως και η αντίστοιχη επιτάχυνση, τη διεύθυνση της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς και φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.

Το μέτρο της κεντρομόλου δύναμης θα μπορούσε να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως, για παράδειγμα, η μάζα του περιστρεφόμενου σώματος, η ακτίνα περιστροφής ή η γωνιακή συχνότητα (ή ισοδύναμα, η περίοδος) περιστροφής. Σε αυτό το πείραμα θα διερευνήσουμε αν και με ποιον τρόπο εξαρτάται η κεντρομόλος δύναμη από τα παραπάνω τρία μεγέθη.

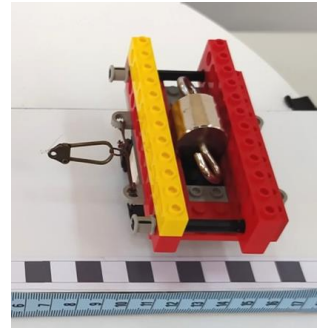
2. Περιγραφή της πειραματικής διάταξης



Εικόνα 1: Η πειραματική διάταξη για τη μελέτη της κυκλικής κίνησης ενός μικρού αυτοκινήτου.

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιούμε αποτελείται από: ένα τροφοδοτικό τάσης, ένα περιστρεφόμενο πλατό, ένα μοτέρ με ιμάντα, έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο συνδεδεμένο με φωτοπύλη, έναν αισθητήρα δύναμης με τη βάση στήριξής του, ένα αυτοκινητάκι παιχνίδι, νήμα ή αλυσίδα, μία τροχαλία, έναν πίρο, έναν ξύλινο διάδρομο, μία μετροταινία. Το περιστρεφόμενο πλατό (ο λευκός δίσκος στην Εικόνα 1) συνδέεται μέσω ιμάντα με το μοτέρ, του οποίου η περιστροφική κίνηση ρυθμίζεται από το τροφοδοτικό: μεταβάλλοντας την τάση εξόδου στο τροφοδοτικό αλλάζουμε την περίοδο περιστροφής του πλατό. Πάνω στο πλατό, κατά μήκος μίας διαμέτρου του, έχει τοποθετηθεί κατάλληλα ένας διάδρομος πάνω στον οποίο βρίσκεται το αυτοκινητάκι και στην άκρη του έχει στερεωθεί ένας κατακόρυφος πίρος (Εικόνα 1). Με τη βοήθεια ενός αλφαδιού έχουμε ελέγξει ότι το πλατό είναι οριζόντιο.

Το αυτοκίνητάκι συνδέεται με τον αισθητήρα δύναμης μέσω αλυσίδας ή νήματος. Η μάζα του μπορεί να μεταβάλλεται, προσθέτοντας βαρίδια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Με μετροταινία που έχει προσαρμοστεί στον διάδρομο, μπορούμε να μετράμε την ακτίνα R της κυκλικής τροχιάς, από το κέντρο του πλατό ως το κέντρο μάζας του αυτοκινήτου.



Εικόνα 2: Το αυτοκίνητο πάνω στον διάδρομο.

Στη διάταξη υπάρχει ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο συνδεδεμένο με μία φωτοπύλη (Εικόνα 3). Σε κάθε περιστροφή του πλατό ο πείρος, που βρίσκεται στερεωμένος στην άκρη του διαδρόμου, διέρχεται μέσα από την φωτοπύλη. Το χρονόμετρο ενεργοποιείται ($t=0$) όταν ο πείρος περάσει για πρώτη φορά από τη φωτοπύλη και εμφανίζει ένδειξη όταν ο πείρος διέλθει για δεύτερη από τη φωτοπύλη, μετά από μία περιστροφή, δηλαδή μετά από χρονικό διάστημα ίσο με την περίοδο περιστροφής.



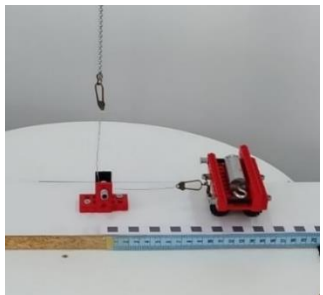
Εικόνα 3: Το μοτέρ, ο ιμάντας περιστροφής, η φωτοπύλη και το χρονόμετρο, ο πείρος.

Ο αισθητήρας δύναμης (Εικόνα 4) συνδέεται από τη μία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω της μονάδας Dblab, και από την άλλη με το αυτοκίνητο, μέσω νήματος ή αλυσίδας. Μετρά την δύναμη F που δέχεται ο ίδιος από το αυτοκίνητο, μέσω του νήματος, όταν η διάταξη περιστρέφεται. Λόγω του 3ου νόμου του Νεύτωνα στο αυτοκίνητο ασκείται δύναμη ίσου μέτρου. Θα κάνουμε την υπόθεση ότι αυτή η δύναμη είναι η κεντρομόλος δύναμη. Θα θεωρήσουμε, δηλαδή, ότι η ένδειξη του αισθητήρα ταυτίζεται με τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο αυτοκίνητο. Η υπόθεσή μας θεωρούμε ότι ισχύει εφόσον η ταχύτητα περιστροφής της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορούμε αρχικά να θεωρήσουμε πολύ μικρή τη στατική τριβή στο αυτοκίνητο και στην τροχαλία σε σχέση με την τάση του νήματος.



Εικόνα 4: Ο αισθητήρας δύναμης.

Το νήμα που συνδέει το αυτοκίνητο με τον αισθητήρα, διέρχεται από μία τροχαλία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Σύνδεση μέσω νήματος και μίας τροχαλίας.

3. Πειραματική διαδικασία

3.1 Διερεύνηση της εξάρτησης της κεντρομόλου δύναμης F_k από τη μάζα του περιστρεφόμενου σώματος

Βιντεοσκοπημένο πείραμα: <https://www.youtube.com/watch?v=Urhj4PCgLWs>

Βλέποντας το βιντεοσκοπημένο πείραμα θα παρακολουθήσεις τη διενέργεια πέντε μετρήσεων με βάση την πειραματική διάταξη που έχει περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο. Θα διαπιστώσεις ότι αρχικά παρουσιάζεται η ζύγιση του αυτοκινήτου, ακολουθεί η μέτρηση της ακτίνας περιστροφής και στη συνέχεια η διαδικασία μέτρησης της περιόδου περιστροφής.

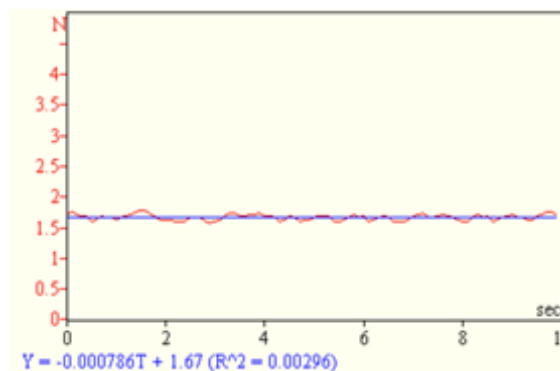
1. Η μέτρηση της μάζας του αυτοκινήτου παρουσιάζεται στην αρχή κάθε επιμέρους μέτρησης. Παρακολούθησε προσεκτικά το βίντεο, σταμάτησε τη ροή του όπου το θεωρείς απαραίτητο, και κατάγραψε για κάθε μέτρηση τη μάζα του αυτοκινήτου στην 4^η στήλη του Πίνακα 1.
2. Σε όλα τα βήματα του βίντεο αυτού έχει χρησιμοποιηθεί νήμα σταθερού μήκους με αποτέλεσμα η ακτίνα περιστροφής να παραμένει σταθερή. Για τον λόγο αυτό, η διαδικασία μέτρησής της εμφανίζεται μία μόνο φορά και αφορά τη μέτρηση της απόστασης του κέντρου μάζας του αυτοκινήτου (το οποίο θεωρούμε ότι συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο συμμετρίας του) από το κέντρο του πλατό. Για να καταγράψεις τη μέτρηση αυτή στη 2^η στήλη του Πίνακα 1 θα αξιοποιήσεις την ένδειξη της μετροταινίας στο βίντεο.
3. Με κατάλληλη ρύθμιση του τροφοδοτικού, έχει επιχειρηθεί η περίοδος περιστροφής του πλατό, και άρα και του στρεφόμενου μαζί με αυτό αυτοκινήτου, να είναι σταθερή. Παρατηρώντας το βίντεο θα διαπιστώσεις ότι καθώς η διάταξη αρχίζει να περιστρέφεται οι διαδοχικές ενδείξεις του χρονομέτρου της φωτοπύλης δεν είναι ακριβώς οι ίδιες κάθε φορά. Αυτό συμβαίνει καθώς απαιτείται κάποιος χρόνος για να αποκτήσει η διάταξη τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Μπορείς να θεωρήσεις ότι η περίοδος περιστροφής του αυτοκινήτου είναι αυτή που εμφανίζεται στο χρονόμετρο όταν η ένδειξή του πλέον αναβοσβήνει παραμένοντας σταθερή. Κατάγραψε την τιμή αυτή στην 3^η στήλη του Πίνακα 1 με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων για κάθε μία από τις πέντε μετρήσεις.

Παρακολουθώντας το βίντεο θα διαπιστώσεις ότι μετά τη σταθεροποίηση και τη μέτρηση της περιόδου περιστροφής εμφανίζεται η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον οποίο καταγράφεται αυτόματα η τιμή του αισθητήρα δύναμης. Η τιμή αυτή δεν είναι απολύτως σταθερή, για διάφορους λόγους, και εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις γύρω από μία μέση τιμή. Για να υπολογίσουμε αυτή τη μέση τιμή αξιοποιούμε τη δυνατότητα, που μας παρέχει το λογισμικό που συνοδεύει τον αισθητήρα, για να χαράξουμε μία ευθεία που περνά με τον βέλτιστο τρόπο από τα πειραματικά σημεία.

Στην κάτω αριστερή γωνία της οθόνης (Εικόνα 6) βλέπουμε την εξίσωση αυτής της ευθείας, η οποία έχει τη γενική μορφή:

$$Y = at + b \quad (R^2 = c)$$

Ο σταθερός όρος b εκφράζει το μέτρο της κεντρομόλου δύναμης F_k , την οποία δέχεται το αυτοκίνητο μέσω του νήματος από τον αισθητήρα.



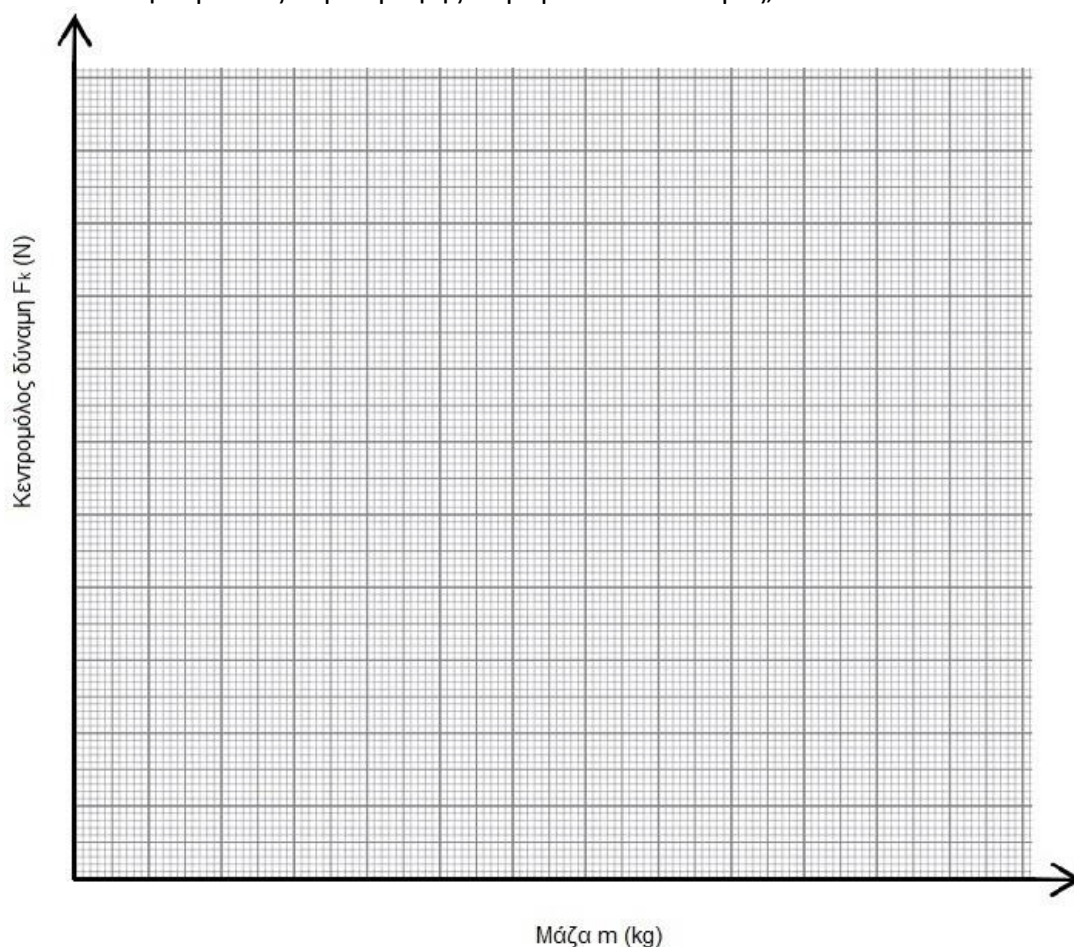
Εικόνα 6: Γραφική παράσταση της δύναμης που καταγράφει ο αισθητήρας. **Προσοχή:** Το σύμβολο T στο στιγμιότυπο της οθόνης αναφέρεται στον χρόνο.

Παρακολουθώντας το βίντεο κατάγραψε τις τιμές της κεντρομόλου δύναμης που μετράει ο αισθητήρας δύναμης και συμπλήρωσε την 5^η στήλη του Πίνακα 1.

Πίνακας 1

1 ^η Στήλη	2 ^η Στήλη	3 ^η Στήλη	4 ^η Στήλη	5 ^η Στήλη
Αριθμός Μέτρησης	Ακτίνα R (m)	Περίοδος T (s)	Μάζα m (kg)	Δύναμη F_k (N)
1				
2				
3				
4				
5				

4. Να κάνεις τη γραφική παράσταση $F_k - m$ σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων (εικόνα 7). Στον κατακόρυφο άξονα να τοποθετήσεις τις τιμές της δύναμης που μέτρησε ο αισθητήρας F_k (5^η στήλη του Πίνακα 1) και στον οριζόντιο άξονα τις τιμές της μάζας του αυτοκινήτου (4^η στήλη του Πίνακα 1). Τι μορφή έχει η γραφική παράσταση; Τι συμπέρασμα προκύπτει για την εξάρτηση της κεντρομόλου δύναμης από τη μάζα του περιστρεφόμενου σώματος, όταν η ακτίνα και η περίοδος περιστροφής παραμένουν σταθερές;



Εικόνα 7: Γραφική παράσταση $F_k - m$

3.2 Διερεύνηση της εξάρτησης της κεντρομόλου δύναμης F_k από την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του περιστρεφόμενου σώματος

Βιντεοσκοπημένο πείραμα: <https://www.youtube.com/watch?v=JhwgYg8yXZc>

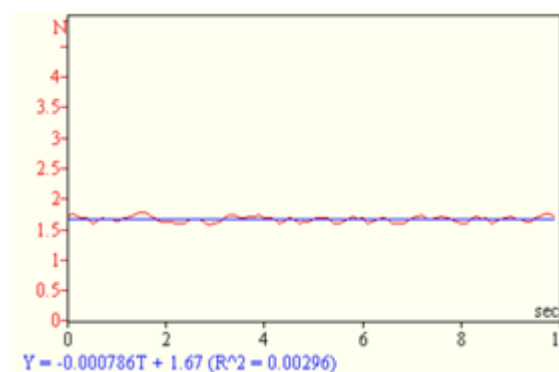
Βλέποντας το βιντεοσκοπημένο πείραμα θα παρακολουθήσεις τη διενέργεια πέντε μετρήσεων με βάση την πειραματική διάταξη που έχει περιγραφεί στην παράγραφο 2. Θα διαπιστώσεις ότι αρχικά παρουσιάζεται η ζύγιση του αυτοκινήτου, ακολουθεί η μέτρηση της ακτίνας περιστροφής και στη συνέχεια η διαδικασία μέτρησης της περιόδου περιστροφής. Η μέτρηση της ακτίνας αφορά την απόσταση του κέντρου μάζας του αυτοκινήτου (το οποίο θεωρούμε ότι συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο συμμετρίας του) από το κέντρο του πλατό.

1. Σε όλα τα βήματα του βίντεο αυτού έχει χρησιμοποιηθεί το ίδιο αυτοκίνητο με αποτέλεσμα η περιστρεφόμενη μάζα να παραμένει σταθερή. Για τον λόγο αυτό, η διαδικασία μέτρησής της εμφανίζεται μία μόνο φορά. Παρακολούθησε προσεκτικά το βίντεο, σταμάτησε τη ροή του όπου το θεωρείς απαραίτητο, και κατάγραψε τη μάζα του αυτοκινήτου στη 2^η στήλη του Πίνακα 2.
2. Η μέτρηση της ακτίνας του αυτοκινήτου παρουσιάζεται στην αρχή κάθε επιμέρους μέτρησης. Παρακολούθησε προσεκτικά το βίντεο, σταμάτησε τη ροή του όπου το θεωρείς απαραίτητο, και κατάγραψε για κάθε μέτρηση την ακτίνα του αυτοκινήτου στην 4^η στήλη του Πίνακα 2.
3. Με κατάλληλη ρύθμιση του τροφοδοτικού, έχει επιχειρηθεί η περίοδος περιστροφής του πλατό, και άρα και του στρεφόμενου μαζί του αυτοκινήτου, να είναι σταθερή. Παρατηρώντας το βίντεο θα διαπιστώσεις ότι καθώς η διάταξη αρχίζει να περιστρέφεται οι διαδοχικές ενδείξεις του χρονομέτρου της φωτοπύλης δεν είναι ακριβώς οι ίδιες κάθε φορά. Αυτό συμβαίνει καθώς απαιτείται κάποιος χρόνος για να αποκτήσει η διάταξη τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Μπορείς να θεωρήσεις ότι η περίοδος περιστροφής του αυτοκινήτου είναι αυτή που εμφανίζεται στο χρονόμετρο όταν η ένδειξή του πλέον αναβοσβήνει παραμένοντας σταθερή. Κατάγραψε την τιμή αυτή στην 3^η στήλη του Πίνακα 2 με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων για κάθε μία από τις πέντε μετρήσεις.
4. Παρακολουθώντας το βίντεο θα διαπιστώσεις ότι μετά τη σταθεροποίηση και τη μέτρηση της περιόδου περιστροφής εμφανίζεται η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον οποίο καταγράφεται αυτόματα η τιμή του αισθητήρα δύναμης. Η τιμή αυτή δεν είναι απολύτως σταθερή, για διάφορους λόγους, και εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις γύρω από μία μέση τιμή. Για να υπολογίσουμε αυτή την τιμή αξιοποιούμε τη δυνατότητα, που μας παρέχει το λογισμικό που συνοδεύει τον αισθητήρα, για να χαράξουμε μία ευθεία που περνά με τον βέλτιστο τρόπο από τα πειραματικά σημεία. Στην κάτω αριστερή γωνία της οθόνης (Εικόνα 8) βλέπουμε την εξίσωση αυτής της ευθείας, η οποία έχει τη γενική μορφή:

$$Y = at + b \quad (R^2 = c)$$

Ο σταθερός όρος b εκφράζει το μέτρο της κεντρομόλου δύναμης F_k , την οποία δέχεται το αυτοκίνητο μέσω του νήματος από τον αισθητήρα.

Παρακολουθώντας το βίντεο κατάγραψε τις τιμές της κεντρομόλου δύναμης που μετράει ο αισθητήρας δύναμης και συμπλήρωσε την 5^η στήλη του Πίνακα 2.

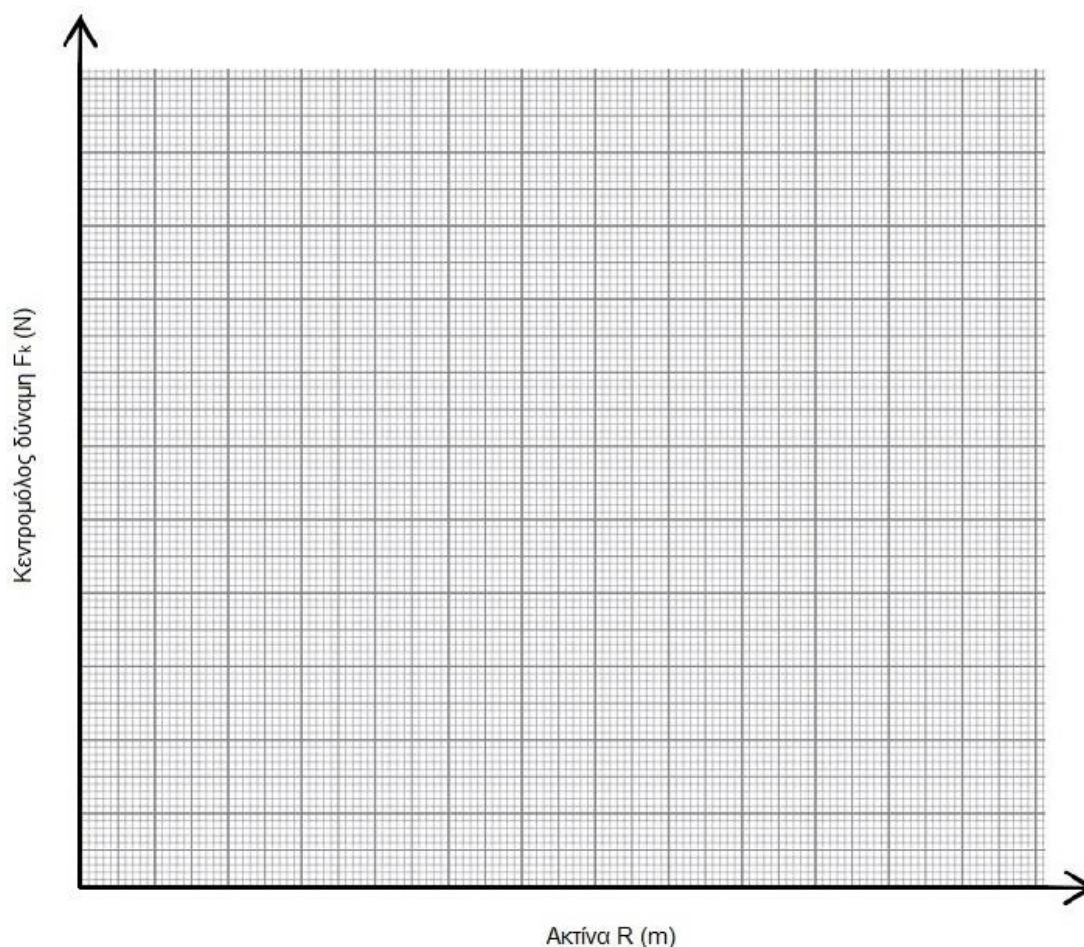


Εικόνα 8: Γραφική παράσταση της δύναμης που καταγράφει ο αισθητήρας. **Προσοχή:** Το σύμβολο T στο στιγμιότυπο της οθόνης αναφέρεται στον χρόνο.

Πίνακας 2

1 ^η Στήλη	2 ^η Στήλη	3 ^η Στήλη	4 ^η Στήλη	5 ^η Στήλη
Αριθμός Μέτρησης	Μάζα m (kg)	Περίοδος T (s)	Ακτίνα R (m)	Δύναμη F_k (N)
1				
2				
3				
4				
5				

5. Να κάνεις τη γραφική παράσταση $F_k - R$ σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων (εικόνα 9). Στον κατακόρυφο άξονα να τοποθετήσεις τις τιμές της δύναμης που μέτρησε ο αισθητήρας F_k (5^η στήλη του Πίνακα 2) και στον οριζόντιο άξονα τις τιμές της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς του αυτοκινήτου (4^η στήλη του Πίνακα 2). Τι μορφή έχει η γραφική παράσταση; Τι συμπέρασμα προκύπτει για την εξάρτηση της κεντρομόλου δύναμης από την ακτίνα του περιστρεφόμενου σώματος, όταν η μάζα και η περίοδος περιστροφής παραμένουν σταθερές;



Εικόνα 9: Γραφική παράσταση $F_k - R$.

3.3 Διερεύνηση της εξάρτησης της κεντρομόλου δύναμης F_k από την περίοδο περιστροφής της κυκλικής κίνησης του περιστρεφόμενου σώματος

Βιντεοσκοπημένο πείραμα: <https://www.youtube.com/watch?v=viMRMR7P9IE>

Βλέποντας το βιντεοσκοπημένο πείραμα θα παρακολουθήσεις τη διενέργεια πέντε μετρήσεων με βάση την πειραματική διάταξη που έχει περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο. Θα διαπιστώσεις ότι αρχικά παρουσιάζεται η ζύγιση του αυτοκινήτου, ακολουθεί η μέτρηση της ακτίνας περιστροφής και στη συνέχεια η διαδικασία μέτρησης της περιόδου περιστροφής.

1. Σε όλα τα βήματα του βίντεο αυτού έχει χρησιμοποιηθεί το ίδιο αυτοκίνητο με αποτέλεσμα η περιστρεφόμενη μάζα να παραμένει σταθερή. Για τον λόγο αυτό, η διαδικασία μέτρησής της εμφανίζεται μία μόνο φορά. Παρακολούθησε προσεκτικά το βίντεο, σταμάτησε τη ροή του όπου το θεωρείς απαραίτητο, και κατάγραψε τη μάζα του αυτοκινήτου στη 2^η στήλη του Πίνακα 3.
2. Επίσης, σε όλα τα βήματα του βίντεο έχει χρησιμοποιηθεί νήμα σταθερού μήκους με αποτέλεσμα η ακτίνα περιστροφής να παραμένει σταθερή. Για τον λόγο αυτό, η διαδικασία μέτρησής της εμφανίζεται μία μόνο φορά και αφορά τη μέτρηση της απόστασης του κέντρου μάζας του αυτοκινήτου (το οποίο θεωρούμε ότι συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο συμμετρίας του) από το κέντρο του πλατό. Για να καταγράψεις τη μέτρηση αυτή στη 3^η στήλη του Πίνακα 3 θα αξιοποιήσεις την ένδειξη της μετροταινίας στο βίντεο.
3. Με κατάλληλες ρυθμίσεις του τροφοδοτικού επιτυγχάνεται η μεταβολή της περιόδου περιστροφής του πλατό T , άρα και του στρεφόμενου μαζί του αυτοκινήτου. Παρατηρώντας το βίντεο θα διαπιστώσεις ότι απαιτείται κάποιος χρόνος για να αποκτήσει η περίοδος μία σταθερή τιμή. Μπορείς να θεωρήσεις ότι η περίοδος περιστροφής του αυτοκινήτου είναι αυτή που εμφανίζεται στο χρονόμετρο όταν η ένδειξή του πλέον αναβοσβήνει παραμένοντας σταθερή. Κατάγραψε την τιμή αυτή στην 4^η στήλη του Πίνακα 3 με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων.
4. Υπολόγισε τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του αυτοκινήτου ω , χρησιμοποιώντας στοιχειώδεις γνώσεις από προηγούμενες ενότητες και τη σχέση:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1)$$

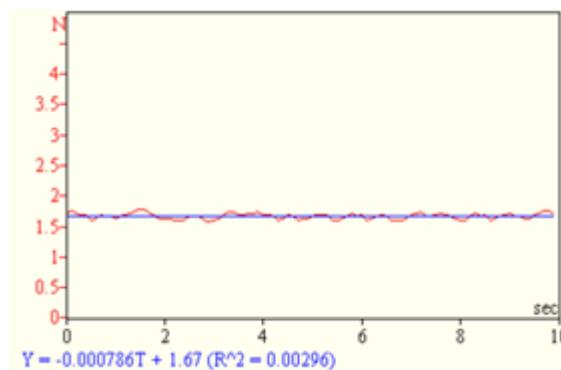
Συμπλήρωσε την 5^η και την 6^η στήλη του Πίνακα 3. Παρακολουθώντας το βίντεο θα διαπιστώσεις ότι μετά τη σταθεροποίηση και τη μέτρηση της περιόδου περιστροφής εμφανίζεται η οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον οποίο καταγράφεται αυτόματα η τιμή του αισθητήρα δύναμης. Η τιμή αυτή δεν είναι απολύτως σταθερή, για διάφορους λόγους, και εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις γύρω από μία μέση τιμή. Για να υπολογίσουμε αυτή την τιμή αξιοποιούμε τη δυνατότητα, που μας παρέχει το λογισμικό που συνοδεύει τον αισθητήρα, για να χαράξουμε μία ευθεία που περνά με τον βέλτιστο τρόπο από τα πειραματικά σημεία.

Στην κάτω αριστερή γωνία της οθόνης (Εικόνα 10) βλέπουμε την εξίσωση αυτής της ευθείας, η οποία έχει τη γενική μορφή:

$$Y = at + b \quad (R^2 = c)$$

Ο σταθερός όρος b εκφράζει το μέτρο της κεντρομόλου δύναμης F_k , την οποία δέχεται το αυτοκίνητο μέσω του νήματος από τον αισθητήρα.

Παρακολουθώντας το βίντεο κατάγραψε τις τιμές της κεντρομόλου δύναμης που μετράει ο αισθητήρας δύναμης και συμπλήρωσε την 7^η στήλη του Πίνακα 3.



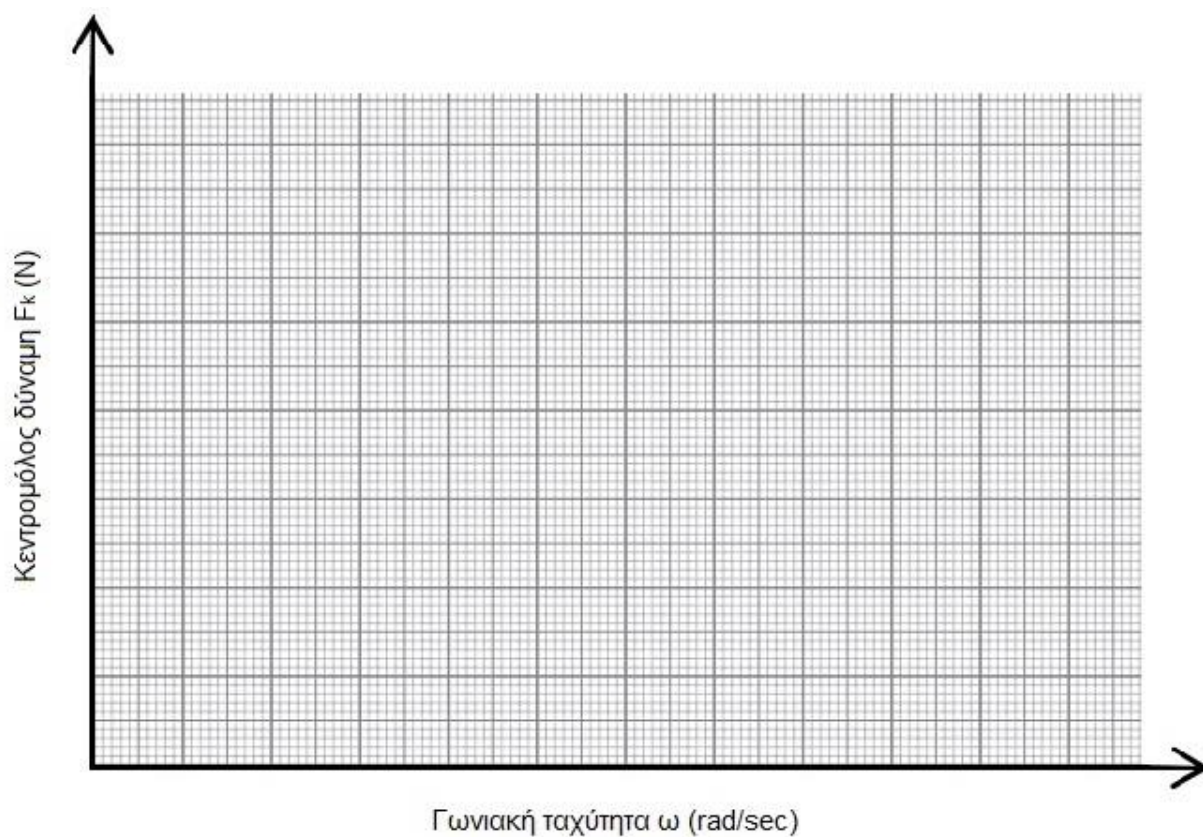
Εικόνα 10: Γραφική παράσταση της δύναμης που καταγράφει ο αισθητήρας.

Προσοχή: Το σύμβολο T στο στιγμιότυπο της οθόνης αναφέρεται στον χρόνο.

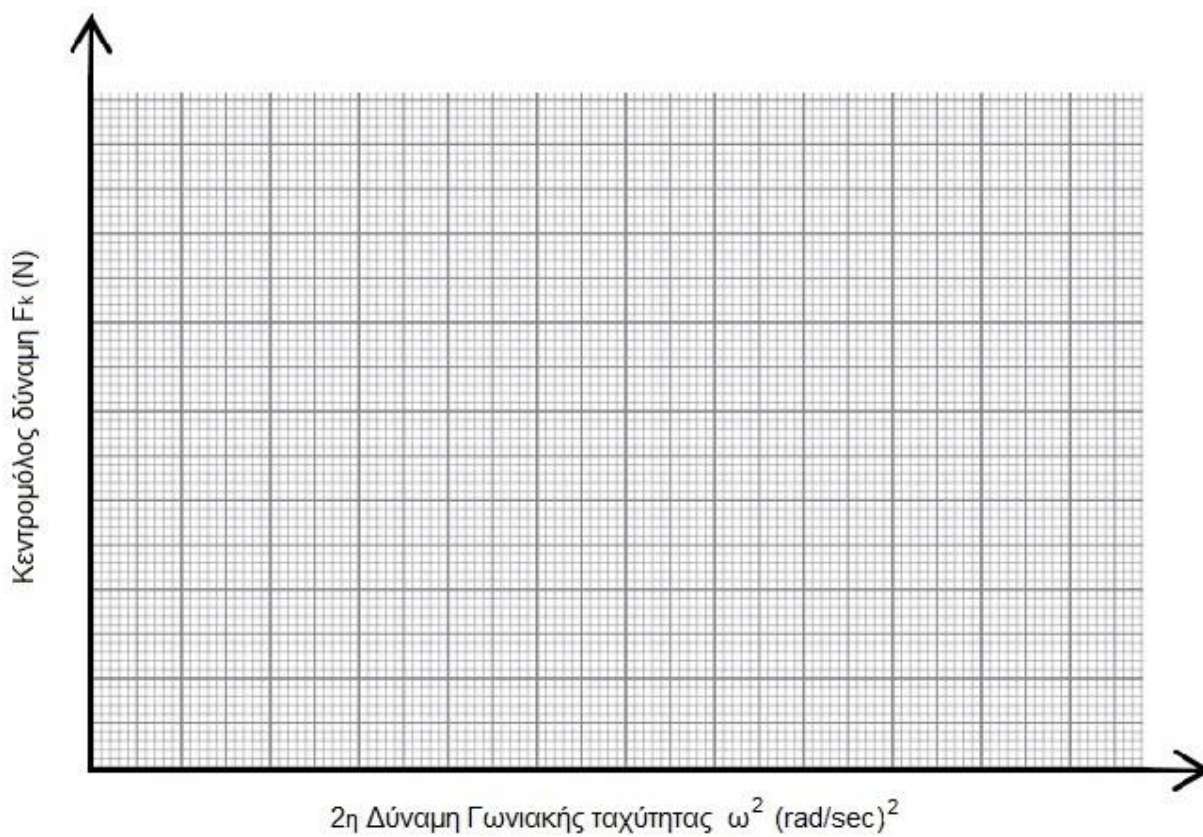
Πίνακας 3

1 ^η Στήλη	2 ^η Στήλη	3 ^η Στήλη	4 ^η Στήλη	5 ^η Στήλη	6 ^η Στήλη	7 ^η Στήλη
Αριθμός Μέτρησης	Μάζα m (kg)	Ακτίνα R (m)	Περίοδος T (s)	Γωνιακή ταχύτητα ω (rad/s)	ω^2 (rad/s) ²	Δύναμη F_k (N)
1						
2						
3						
4						
5						

1. Να κάνεις τη γραφική παράσταση $F_k - \omega$ σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων (εικόνα 11). Στον κατακόρυφο άξονα να τοποθετήσεις τις τιμές της δύναμης που μέτρησε ο αισθητήρας F_k (7^η στήλη του Πίνακα 3) και στον οριζόντιο άξονα τις τιμές της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής του αυτοκινήτου (5^η στήλη του Πίνακα 3). Τι μορφή έχει η γραφική παράσταση; Τι συμπέρασμα προκύπτει για την εξάρτηση της κεντρομόλου δύναμης από την γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου σώματος;
2. Μπορείς να υποθέσεις με ποιον τρόπο εξαρτάται η κεντρομόλος δύναμη από τη δεύτερη δύναμη της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής; Να κάνεις τη γραφική παράσταση $F_k - \omega^2$ (εικόνα 12) σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων. Στον κατακόρυφο άξονα να τοποθετήσεις τις τιμές της δύναμης που μέτρησε ο αισθητήρας F_k (7^η στήλη του Πίνακα 3) και στον οριζόντιο άξονα τις τιμές της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής του αυτοκινήτου υψωμένης στη δεύτερη δύναμη (6^η στήλη του Πίνακα 3). Τι μορφή έχει τώρα η γραφική παράσταση; Τι συμπέρασμα προκύπτει για την εξάρτηση της κεντρομόλου δύναμης από την γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου σώματος;
3. Τι συμπέρασμα προκύπτει για την εξάρτηση της κεντρομόλου δύναμης από την περίοδο περιστροφής;



Εικόνα 11: Γραφική παράσταση $F_k - \omega$



Εικόνα 12: Γραφική παράσταση $F_k - \omega^2$

3.4 Διερεύνηση της εξάρτησης της κεντρομόλου δύναμης F_k από τους παράγοντες που την επηρεάζουν

Αφού μελετήσεις προσεκτικά τα αποτελέσματα της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε στις παραγράφους 3.1, 3.2 και 3.3, σχετικά με την εξάρτηση της κεντρομόλου δύναμης F_k από τη μάζα του περιστρεφόμενου σώματος, την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς και την γωνιακή ταχύτητα της κυκλικής κίνησης αντίστοιχα, να συμπληρώσεις τον Πίνακα 4 χρησιμοποιώντας τις φράσεις: α) ανάλογα ποσά ή β) αντιστρόφως ανάλογα ποσά, λαμβάνοντας υπόψη το πώς εξαρτάται η F_k από το καθένα φυσικό μέγεθος.

Πίνακας 4

Μεγέθη	Μάζα περιστρεφόμενου σώματος (m)	Ακτίνα κυκλικής τροχιάς (R)	Γωνιακή ταχύτητα της κυκλικής κίνησης στο τετράγωνο (ω^2)
Κεντρομόλος δύναμη F_k			

- Με βάση τον Πίνακα 4 να προτείνεις μία μαθηματική σχέση που μπορεί να συνδέει τα μεγέθη F_θ , m , R , ω , όπου F_θ είναι η θεωρητικά προτεινόμενη τιμή της κεντρομόλου δύναμης:

$$F_\theta = \dots \dots \dots (1)$$

- Επίλεξε οποιαδήποτε τετράδα μετρήσεων των μεγεθών m , R , T , F_k από κάθε έναν από τους Πίνακες 1, 2, 3 των προηγούμενων ενοτήτων και μετάφερε την στα αντίστοιχα κελιά του Πίνακα 5 (2^η, 3^η, 4^η και 7^η στήλη αντίστοιχα). Να συμπληρώσεις τα κελιά της 5^{ης} και 6^{ης} στήλης του Πίνακα 5 κάνοντας τους απαραίτητους υπολογισμούς για τη γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου σώματος και την αντίστοιχη τιμή υψωμένη στο τετράγωνο. Να υπολογίσεις για κάθε μία σειρά μετρήσεων τη θεωρητικά προτεινόμενη τιμή της κεντρομόλου F_θ , όπως προκύπτει από την εξίσωση (1) που έχεις προτείνει και να τη συμπληρώσεις στην 8^η στήλη του Πίνακα 5.
- Να υπολογίσεις τη σχετική διαφορά $\sigma\%$ της πειραματικά μετρούμενης τιμής F_k της κεντρομόλου δύναμης από τη θεωρητικά προτεινόμενη F_θ , σύμφωνα με τη σχέση (2):

$$\sigma\% = \frac{F_k - F_\theta}{F_k} 100\% \quad (2)$$

- Για ποιους λόγους πιστεύεις ότι υπάρχουν αποκλίσεις ανάμεσα στην πειραματικά μετρούμενη τιμή F_k της κεντρομόλου δύναμης και στη θεωρητικά υπολογιζόμενη, με βάση τη σχέση (1), τιμή F_θ ;

Πίνακας 5

1 ^η Στήλη	2 ^η Στήλη	3 ^η Στήλη	4 ^η Στήλη	5 ^η Στήλη	6 ^η Στήλη	7 ^η Στήλη	8 ^η Στήλη	9 ^η Στήλη
Μέτρηση από τον:	m (kg)	R (m)	T (s)	ω (rad/s)	ω^2 (rad/s) ²	F_k (N)	F_θ (N)	$\sigma\%$
Πίνακα 1								
Πίνακα 2								
Πίνακα 3								