ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Open Schools Journal for Open Science

Τόμ. 3, Αρ. 1 (2020)

Μελέτη κίνησης με φωτοπύλες (Arduino) και πρόγραμμα Tracker

Στεφανία Πατριαρχέα, Κλειώ Τσιάνα, Νικολέτα Μανταδάκη, Ανδρέας Κοής–Αναστασιάδης, Κωνσταντίνος Κετσελίδης, Αλέξανδρος Χέλμης, Γιώργος Νούλας, Μαρία Παπαϊωάννου, Σωτήρης Καπρούλια

doi: 10.12681/osj.22399

Copyright © 2020, Στεφανία Πατριαρχέα, Κλειώ Τσιάνα, Νικολέτα Μανταδάκη, Ανδρέας Κοής–Αναστασιάδης, Κωνσταντίνος Κετσελίδης, Αλέξανδρος Χέλμης, Γιώργος Νούλας, Μαρία Παπαϊωάννου, Σωτήρης Καπρούλια

Άδεια χρήσης Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Βιβλιογραφική αναφορά:

Πατριαρχέα Σ., Τσιάνα Κ., Μανταδάκη Ν., Κοής–Αναστασιάδης Α., Κετσελίδης Κ., Χέλμης Α., Νούλας Γ., Παπαϊωάννου Μ., & Καπρούλια Σ. (2020). Μελέτη κίνησης με φωτοπύλες (Arduino) και πρόγραμμα Tracker. *Open Schools Journal for Open Science*, *3*(1). https://doi.org/10.12681/osj.22399

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 10/01/2026 13:15:03

Open Schools Journal for Open Science

Volume 4

Μελέτη κίνησης με φωτοπύλες (Arduino) και πρόγραμμα Tracker

Στεφανία Πατριαρχέα[1], Κλειώ Τσιάνα[1], Νικολέτα Μανταδάκη[1], Ανδρέας Κοής – Αναστασιάδης[1], Κων/νος Κετσελίδης[1], Αλέξανδρος Χέλμης[1], Γιώργος Νούλας [2], Μαρία Παπαϊωάννου[3], Σωτήρης Καπρούλια[2]

[1] Ιδιωτικό Γυμνάσιο Παλλάδιο, Αθήνα, Ελλάδα
[2] Φυσικός, Ιδιωτικό Γυμνάσιο Παλλάδιο, Αθήνα, Ελλάδα
[3] Πληροφορικής, Ιδιωτικό Γυμνάσιο Παλλάδιο, Αθήνα, Ελλάδα

Περίληψη

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης μιας πειραματικής συσκευής αποτελούμενης από αυτοσχέδιες φωτοπύλες και τον μικροεπεξεργαστή Arduino για την μελέτη ευθύγραμμων κινήσεων στο εργαστήριο φυσικών επιστημών του σχολείου μας. Στο δεύτερο μέρος γίνεται η θεωρητική και η πειραματική μελέτη συγκεκριμένων κινήσεων με στόχο την ποιοτική και την ποσοτική περιγραφή εννοιών όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Εκτελούμε πειράματα με την πειραματική συσκευή που κατασκευάσαμε στο εργαστήριο, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα tracker video analysis για να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για δύο είδη κινήσεων, της ευθύγραμμης ομαλής και την κίνηση της καθόδου μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο.

Λέξεις κλειδιά

φωτοπύλες, tracker, κεκλιμένο επίπεδο, ταχύτητα, επιτάχυνση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμβολή του Γαλιλαίου για την κίνηση των σωμάτων, υπήρξε καθοριστική για την επιστήμη της φυσικής. Ο συστηματικός τρόπος με τον οποίο μελέτησε την κίνηση των σωμάτων άλλαξε για πάντα τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον φυσικό κόσμο και έθεσε τα θεμέλια για αυτό που ονομάζουμε επιστημονική μέθοδο. Ο Γαλιλαίος, με τη συστηματική του μέθοδο απέδειξε ότι ο Αριστοτέλης είχε τελικά άδικο και ότι η ελεύθερη πτώση ενός σώματος δεν εξαρτάται από την μάζα του, όπως μέχρι τότε πιστευόταν (Lindberg). Χρησιμοποιώντας αντικείμενα τα οποία κυλούσαν σε κεκλιμένα επίπεδα συμπέρανε ότι αυτά συνεχώς επιταχύνονταν και ενάντια στην κοινή εμπειρία, αυτή η επιτάχυνση είναι ανεξάρτητη της μάζας. Το έργο του Γαλιλαίου συνεχίστηκε από τον Νεύτωνα ο οποίος έθεσε και τα μαθηματικά θεμέλια για την περιγραφή των κινήσεων με τους περίφημους τρεις νόμους του για την κίνηση των σωμάτων.

Η εργασία που παρουσιάζουμε στην συνέχεια έχει δύο σκέλη. Στο πρώτο σκέλος περιγράφουμε την ανάπτυξη μιας πειραματικής συσκευής στο εργαστήριο φυσικής του σχολείο μας, η οποία αποτελείται από αυτοσχέδιες φωτοπύλες οι οποίες ελέγχονται από έναν μικροεπεξεργαστή Arduino. Στο δεύτερο σκέλος χρησιμοποιούμε την πειραματική συσκευή που κατασκευάσαμε σε συνδυασμό με το πρόγραμμα ανάλυσης Tracker Video Analysis για να μελετήσουμε θεωρητικά και πειραματικά δύο είδη κινήσεων, την ευθύγραμμη ομαλή κίνηση και την κάθοδο σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο. Τέλος αντιπαραβάλουμε τις θεωρητικές και τις πειραματικές τιμές που προκύπτουν κάνοντας έναν έλεγχο της αντίστοιχης θεωρίας.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Περιγραφή κατασκευής

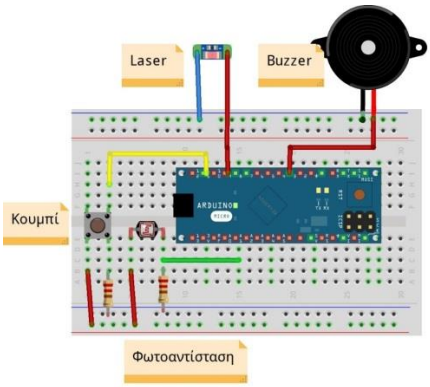
Το σύστημα των φωτοπυλών πραγματοποιήθηκε με την χρήση ενός μικροεπεξεργαστή Arduino, φωτοαντιστατών και λέιζερ. Στη συνέχεια, το Arduino προγραμματίστηκε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Wiring καθώς και της γλώσσας οπτικού προγραμματισμού Scratch.

Η κάθε φωτοπύλη δημιουργήθηκε από ένα λέιζερ ρυθμισμένο να ρίχνει τη δέσμη φωτός του απευθείας σε έναν φωτοαντιστάτη. Το λέιζερ βρίσκεται τοποθετημένο ακριβώς απέναντι από τον φωτοαντιστάτη πάνω σε μια κεκλιμένη επιφάνεια. Το ίδιο σύστημα λέιζερ-φωτοαντιστάτη επαναλαμβάνεται άλλες τρεις φορές κατά μήκος της επιφάνειας.

Για την ευκολότερη χρήση του συστήματος φωτοπυλών, κατά την διάρκεια επανειλημμένων μετρήσεων, προστέθηκε ένα buzzer και ένα κουμπί. Το buzzer κάνει έναν ήχο κάθε φορά που διακόπτεται η δέσμη φωτός σε μια φωτοπύλη και το κουμπί μηδενίζει τις μετρήσεις που εμφανίζει το πρόγραμμα.

Η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (Εικόνα 1). Για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος έχει αναπαρασταθεί η συνδεσμολογία μιας εκ των

φωτοπυλών, καθώς οι υπόλοιπες μπορούν να κατασκευαστούν ακολουθώντας την ίδια συνδεσμολογία.



Εικόνα 1 Συνδεσμολογία συστήματος φωτοπυλών

Προγραμματισμός

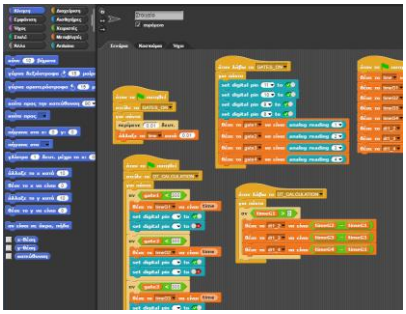
Το Arduino προγραμματίστηκε αρχικώς με την γλώσσα προγραμματισμού Wiring στο περιβάλλον προγραμματισμού IDE του Arduino. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα δημιουργήθηκε και στη γλώσσα οπτικού προγραμματισμού Scratch.

Ο φωτοαντιστάτης είναι αναλογικός αισθητήρας και μετρά την ένταση του φωτός. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μετρά την ένταση της δέσμης φωτός του αντίστοιχου λέιζερ, η οποία έχει ρυθμιστεί να πέφτει απευθείας επάνω της. Οι τιμές που διαβάζει σε αυτή την κατάσταση κυμαίνονται γύρω στο 990-1200. Όταν ένα αντικείμενο περάσει ανάμεσα στον φωτοαντιστάτη και το λέιζερ, τότε αμέσως η τιμή που διαβάζει πέφτει στο 200-400 αναλόγως τον φωτισμό του χώρου. Αυτή η διαφορά των τιμών που διαβάζονται στις δυο καταστάσεις (όταν περνάει αντικείμενο από την φωτοπύλη και όταν δεν περνάει) χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια στο πρόγραμμα.

Το σύστημα καταγράφει την χρονική στιγμή που διακόπτεται η δέσμη φωτός ενός λέιζερ, δηλαδή κάθε φορά που ένα αντικείμενο διασχίσει μια φωτοπύλη. Με αυτό τον τρόπο καταγράφονται τέσσερις χρονικές στιγμές t1, t2, t3 και t4 κατά την ευθύγραμμη πορεία του αντικειμένου στην επιφάνεια. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας την πρώτη χρονική στιγμή ως έναρξη των μετρήσεων υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένα αντικείμενο να περάσει την δεύτερη, την τρίτη και την τέταρτη φωτοπύλη (Dt1, Dt2 και Dt3).

Για την πιο εύκολη επανάληψη των πειραμάτων και των μετρήσεων, προστέθηκε ένα κουμπί έτσι ώστε πατώντας το, να μηδενίζει όλες τις προηγούμενες μετρήσεις.

Ακολουθούν στιγμιότυπα τόσο από το πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Wiring όσο και σε γλώσσα προγραμματισμού Scratch.



Εικόνα 2 Στιγμιότυπα του προγράμματος στην γλώσσα wiring και στη γλώσσα scratch for Arduino.

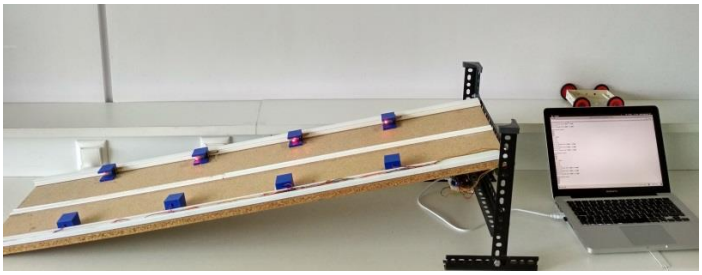
Πειραματική διάταξη

Το σύστημα των φωτοπυλών το προσαρμόσαμε πάνω σε μια σανίδα MDF. Κατασκευάσαμε επίσης μια σιδερένια βάση στήριξης, όπου μας δίνει την δυνατότητα για δύο γωνίες μελέτης του κεκλιμένου επιπέδου, στις 4 και και στις 10 μοίρες. Οι βάσεις – θήκες για τα κυκλώματα των laser και των φωτοαντιστάσεων σχεδιάστηκαν εξαρχής και τυπώθηκαν σε έναν από τους τρισδιάστατους εκτυπωτές του σχολείου μας.

Οι φωτοπύλες τοποθετήθηκαν σε απόσταση 25cm η μια από την άλλη. Στόχος μας είναι το τελικό σχέδιο της πειραματικής διάταξης να έχει τουλάχιστον 10 φωτοπύλες, ώστε να μπορούμε να βγάλουμε εύκολα και διαγράμματα από τα πειραματικά σημεία.

Εικόνα 3 Οι φωτοπύλες και οι βάσεις τους στο κεκλιμένο επίπεδο

Τέλος για την πραγματοποίηση πειραμάτων με μπάλες, προσαρμόσαμε στο κέντρο της σανίδας έναν πλαστικό οδηγό κύλισης. Η τελική μορφή της κατασκευής μας φαίνεται στην εικόνα 5.

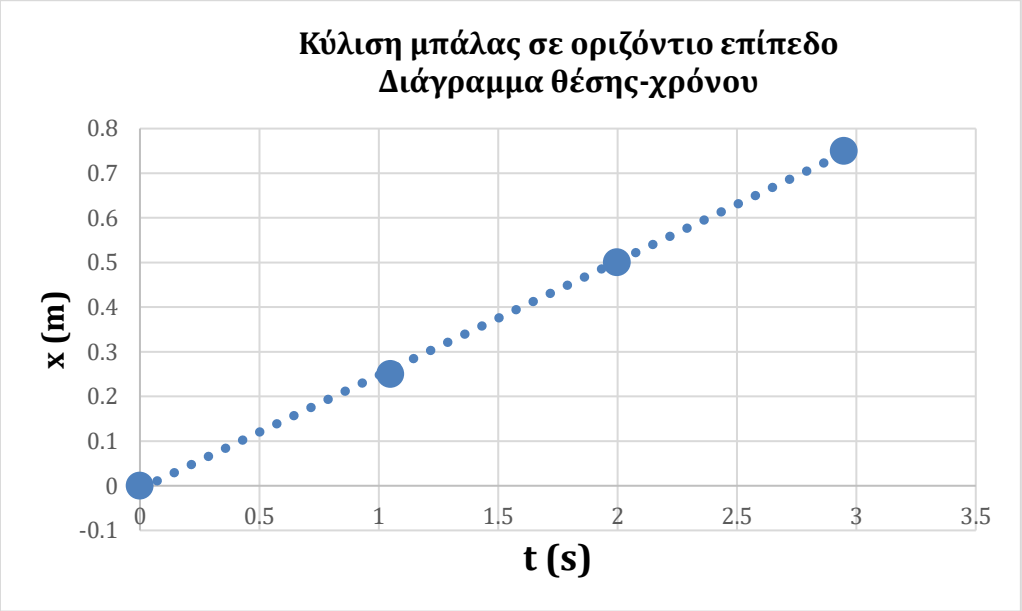


Εικόνα 4 Η πειραματική συσκευή

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση – Ταχύτητα

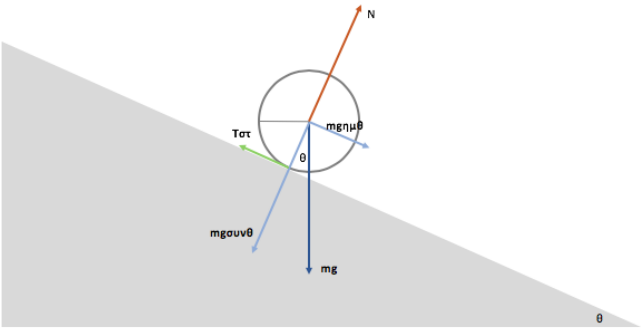
Κατά την κίνηση στην οποία οι μετρούμενες μετατοπίσεις σε ίσες χρονικές διάρκειες είναι ίσες, συμπεραίνουμε ότι το πηλίκο μετατοπίσεων προς τα χρονικά διαστήματα είναι σταθερό, δηλαδή η ταχύτητα είναι σταθερή. Μια τέτοια κίνηση λέγεται ευθύγραμμη ομαλή κίνηση. Για τη μελέτη της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης στην πειραματική μας συσκευή, βάζουμε τη σανίδα σε οριζόντια θέση και σπρώχνουμε τη μπάλα να κινηθεί ανάμεσα από τις φωτοπύλες. Υπό συνθήκες, η κύλιση της μπάλας στο οριζόντιο επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμη ομαλή. Από τις τιμές που καταγράφει η συσκευή μας φτιάχνουμε την γραφική παράσταση θέσης-χρόνου και υπολογίζουμε την ταχύτητα της μπάλας η οποία προκύπτει 0.25m/s



Εικόνα 5 Κύλιση σε οριζόντιο επίπεδο Διάγραμμα θέσης - χρόνου

Θεωρητική περιγραφή καθόδου μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο

Η κύλιση της μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο είναι μια σύνθετη κίνηση. Εφαρμόζοντας τους νόμους του Νεύτωνα για την μεταφορική και την στροφική κίνηση προκύπτει ότι η επιτάχυνση της μπάλας εξαρτάται μόνο από τη γωνία του κεκλιμένου επιπέδου και την επιτάχυνση της βαρύτητας που είναι σταθερές στο πείραμά μας.



Εικόνα 6 Κάθοδος μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο

Για τη μεταφορική κίνηση της σφαίρας έχουμε:

$$\Sigma F_X = m \cdot a \quad \textbf{(1)}$$

$$mg \cdot \eta\mu\varphi - T_{\sigma\tau} = ma_{cm} \quad \textbf{(2)}$$

Για τη στροφική κίνηση της σφαίρας έχουμε:

$$\Sigma F_X = m \cdot a \quad \textbf{(3)}$$

$$mg \cdot \eta\mu\varphi - T_{\sigma\tau} = ma_{cm} \quad \textbf{(4)}$$

$$\Sigma\tau_{cm} = I_{cm} \cdot a_{\gamma\omega\nu} \quad \textbf{(5)}$$

$$T_{\sigma\tau} = \frac{2}{5} MRa_{\gamma\omega\nu} \quad \textbf{(6)}$$

$$T_{\sigma\tau} = \frac{2}{5} ma_{cm} \quad \textbf{(7)}$$

Προσθέτοντας κατά μέλη τις εξισώσεις (2) και (7) προκύπτει ότι η επιτάχυνση του σώματος είναι:

$$\alpha_{cm} = \frac{5g\eta\mu\varphi}{7} \quad \textbf{(8)}$$

Βλέπουμε ότι η επιτάχυνση της μπάλας εξαρτάται μόνο από την επιτάχυνση της βαρύτητας και την γωνία αλλά όχι και από το βάρος της. Για γωνία $\theta = 4^o$ η επιτάχυνση της μπάλας προκύπτει θεωρητικά ότι είναι $\alpha = 0{,}49ms^{-2}$

Κάθοδος σε κεκλιμένο επίπεδο-εξάρτηση από το βάρος

Για να μελετήσουμε την εξάρτηση της επιτάχυνσης από το βάρος της μπάλας στήσαμε το κεκλιμένο επίπεδο σε μια συγκεκριμένη γωνία και κάναμε δοκιμές με μπάλες διαφορετικών μαζών. Για κάθε μπάλα κάναμε 10 επαναλήψεις και υπολογίσαμε το μέσο όρο της επιτάχυνσης. Οι τιμές της επιτάχυνσης που καταγράψαμε για τις διαφορετικές μπάλες φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Μάζα μπάλας (kg)	**Μέση τιμή επιτάχυνσης (ms^{-2})**
0,005	0,43
0,032	0,44
0,055	0,47

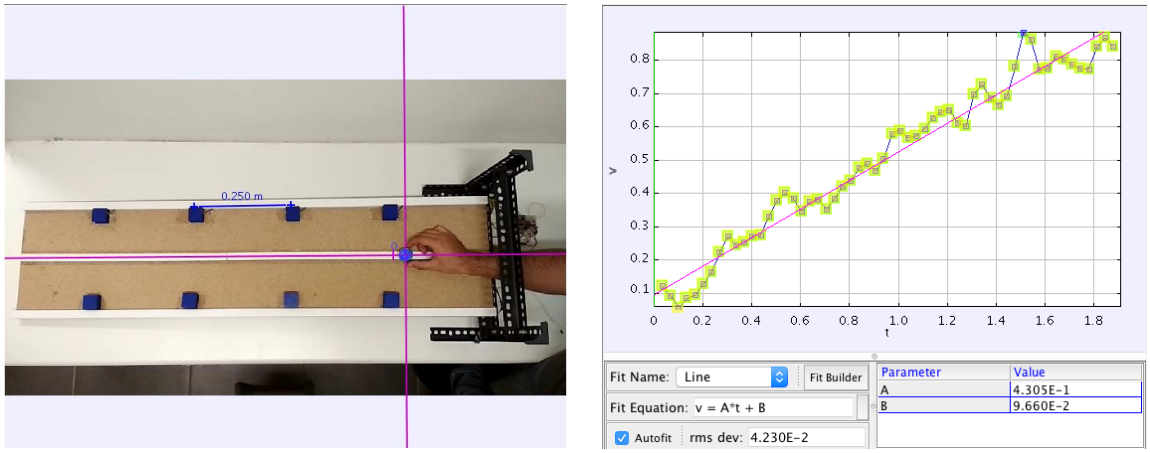
Πίνακας 1 κάθοδος σε κεκλιμένο επίπεδο. Επιτάχυνση ανεξάρτητη της μάζας

Βλέπουμε πρακτικά ότι η επιτάχυνση της μπάλας δεν εξαρτάται από τη μάζα της.

Υπολογισμός επιτάχυνσης από πειραματικές τιμές

Στη συνέχεια υπολογίζουμε πειραματικά την επιτάχυνση για μια από τις μπάλες, με το πρόγραμμα tracker, το οποίο κάνει ανάλυση του video της κίνησης. Οι διαδοχικές θέσεις και οι χρόνοι καθόδου της μπάλας καταγράφονται από το πρόγραμμα το οποίο φτιάχνει τη γραφική παράσταση θέσης-χρόνου. Από τα σημεία που συλλέγει το Tracker αναλύουμε την γραφική παράσταση ταχύτητας – χρόνου και υπολογίζουμε την κλίση της που είναι ίση με την επιτάχυνση της μπάλας. Από την ανάλυση της γραφικής παράστασης βλέπουμε ότι η επιτάχυνση της μπάλας είναι ίση με 0,43ms^{-2}

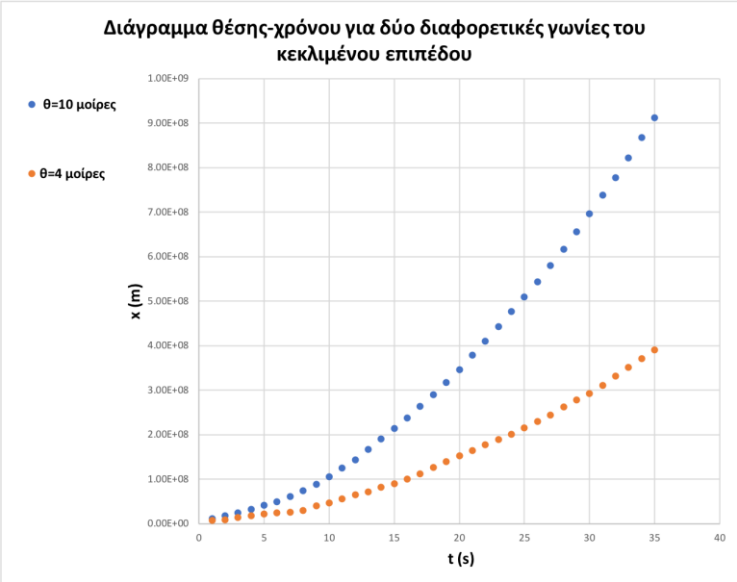
(εικόνα 8).



Εικόνα 8 Μελέτη καθόδου μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο γωνία $\theta = 4^0$

Κάθοδος μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο για δύο διαφορετικές γωνίες

Τέλος αφήνουμε την μπάλα να κυλήσει από το κεκλιμένο επίπεδο σε δύο διαφορετικές γωνίες $\theta = 4^o$ και $\theta = 10^0$. Το πρόγραμμα καταγράφει τα σημεία της θέσης και του χρόνου για την κίνηση της μπάλας. Εμείς αντιπαραβάλουμε τα δύο διαγράμματα θέσης – χρόνου για τις δύο κινήσεις (εικόνα 9).



Εικόνα 9 Κάθοδος μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο για δύο διαφορετικές γωνίες

Από την αντιπαραβολή των δύο διαγραμμάτων είναι φανερό ότι η μέση ταχύτητα της μπάλας για

γωνία $\theta = 10^0$ είναι μεγαλύτερη από αυτή για γωνία $\theta = 4^o$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη των κινήσεων μέσω της πειραματικής συσκευής που κατασκευάσαμε σε συνδυασμό με το πρόγραμμα Tracker μας έδωσε πολύτιμα συμπεράσματα για τα φυσικά μεγέθη που τις περιγράφουν. Υπολογίσαμε ταχύτητες και επιταχύνσεις τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά για δύο είδη κινήσεων, κατασκευάσαμε διαγράμματα θέσης-χρόνου και ταχύτητας – χρόνου. Αποδείξαμε επίσης ότι η επιτάχυνση στην κάθοδο μπάλας σε κεκλιμένο επίπεδο δεν εξαρτάται από τη μάζα της. Τέλος ήρθαμε σε επαφή με μαθητές μεγαλύτερων τάξεων οι οποίοι μας εξήγησαν κομμάτια της θεωρίας για την κύλιση χωρίς ολίσθηση και την κύλιση σε πλάγιο επίπεδο.

Βιβλιογραφία

[1] Hewitt P.J (2004), Οι έννοιες της φυσικής. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης

[2] Αντωνίου Ν., Δημητριάδης Π. κ.ά , Εργαστηριακός οδηγός Β Γυμνασίου.

[3] Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδης, Κ. Καμπούρης, Κ. Παπαμιχάλης, Λ. Παπατσίμπα, Φυσική Β' Γυμνασίου, Υπ. Παιδείας – Παιδαγωγικό Ινστιτούτο - ΟΕΔΒ, έκδοση Γ

[4] Hugh D. Young (1994), Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Α, Κεφ. 15, 8^{Η} έκδοση, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

[5] Lindberg, D. C. (1997). *Οι απαρχές της δυτικής επιστήμης* (μτφ.: Ηλίας Μαρκολέφας Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.(1992)