

# Μελέτη κίνησης με φωτοπύλες (Arduino) και πρόγραμμα Tracker

Νούλας Γιώργος<sup>1</sup>, Καπρούλιας Σωτήρης<sup>2</sup>, Παπαϊωάννου Μαρία<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Φυσικός, Ιδ. Γυμνάσιο ΠΑΛΛΑΔΙΟ  
[giorgos.noulas@palladio.edu.gr](mailto:giorgos.noulas@palladio.edu.gr)

<sup>2</sup>Φυσικός, Ιδ. Γυμνάσιο ΠΑΛΛΑΔΙΟ  
[sotiris.kaproulias@palladio.edu.gr](mailto:sotiris.kaproulias@palladio.edu.gr)

<sup>3</sup>Καθηγήτρια πληροφορικής, Ιδ. Γυμνάσιο ΠΑΛΛΑΔΙΟ  
[mariza.papaioannou@palladio.edu.gr](mailto:mariza.papaioannou@palladio.edu.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια πρόταση για μια διαθεματική προσέγγιση των μαθημάτων της φυσικής και της πληροφορικής με τρόπο ώστε αυτή να είναι σύμφωνη με το πνεύμα της εκπαίδευσης STEM. Μια προσέγγιση στην φιλοσοφία του STEM απαιτεί τη χρήση καινοτόμων και εναλλακτικών μεθόδων μάθησης που αποσκοπούν στην άμεση εμπλοκή των μαθητών για την επίλυση ενός πραγματικού προβλήματος. Στο πνεύμα αυτό και με αφορμή την μελέτη των κινήσεων που αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της διδακτέας ύλης της φυσικής στη Β Γυμνασίου, οι μαθητές με την καθοδήγηση των καθηγητών της πληροφορικής και της φυσικής, κατασκεύασαν και προγραμματίσαν με τη γλώσσα προγραμματισμού Scratch μια πειραματική διάταξη αποτελούμενη από τον μικροεπεξεργαστή Arduino και από αυτοσχέδιες φωτοπύλες κατασκευασμένες με την μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Με την συσκευή που κατασκεύασαν πραγματοποίησαν πειράματα με σκοπό αφενός τη συλλογή δεδομένων και τη μελέτη των ευθύγραμμων κινήσεων στο εργαστήριο φυσικών επιστημών του σχολείου, και αφετέρου τον εμπλουτισμό του εργαστηρίου φυσικής με μια χρήσιμη εργαστηριακή συσκευή για την πραγματοποίηση πειραμάτων φυσικής. Ταυτόχρονα, με την χρήση του προγράμματος ιχνηλασίας Tracker, οι μαθητές πραγματοποίησαν έναν πρώτο έλεγχο της αξιοπιστίας της πειραματικής τους συσκευής. Με αυτό τον τρόπο θεωρούμε ότι οι μαθητές εκτός από τις θεωρητικές γνώσεις των φυσικών φαινομένων που κατακτούν τους δίνεται η δυνατότητα να κατανοήσουν τη διαδικασία καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων, με αποτέλεσμα την ουσιαστική κατανόηση φαινομένων που μόνο η θεωρητική περιγραφή τους τα καθιστά δυσνόητα. Επίσης η ενασχόληση των μαθητών με τον προγραμματισμό, την τρισδιάστατη σχεδίαση (3d modeling) και την τρισδιάστατη εκτύπωση, τους βοηθά να αναπτύξουν δεξιότητες οι οποίες καθίστανται αναγκαίες για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα.

**ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:** Arduino, Φωτοπύλες, Πρόγραμμα ιχνηλασίας Tracker

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρακάτω διδακτικό σενάριο αποτελεί μια προσπάθεια ώστε στα μαθήματα της φυσικής και της πληροφορικής της Β' Γυμνασίου να εισαχθεί η φιλοσοφία της εκπαίδευσης STEM. Στον πυρήνα της εκπαίδευσης STEM βρίσκεται η διαθεματικότητα των εκπαιδευτικών αντικειμένων. Τα εκπαιδευτικά αντικείμενα δεν προσεγγίζονται απομονωμένα όπως παραδοσιακά συνέβαινε μέχρι τώρα, αλλά σε ένα πλαίσιο όπου αναδεικνύονται οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους με σκοπό την ολοκληρωμένη μελέτη ενός πραγματικού προβλήματος (Asghar, 2012).

Με αφορμή το μάθημα της Φυσικής και συγκεκριμένα την ενότητα της κινηματικής οι μαθητές κλήθηκαν να κατασκευάσουν και να προγραμματίσουν μια πειραματική συσκευή για τη μελέτη των κινήσεων.

Αρκετές δημοσιεύσεις αναφέρονται στα προβλήματα των μαθητών σε ότι έχει να κάνει με την ποσοτική αλλά και με την ποιοτική κατανόηση των εννοιών της φυσικής (Carey, 1985). Ένα από τα πιο σημαντικά πεδία όπου οι μαθητές αυτής της ηλικίας φαίνεται να αντιμετωπίζουν προβλήματα είναι στη δημιουργία και την επεξεργασία γραφημάτων, καθώς και στην άντληση πληροφοριών από αυτά, ειδικά, στην περίπτωση της μηχανικής που αποτελεί και την πρώτη ουσιαστική επαφή του μαθητή με την ποσοτική περιγραφή του φυσικού κόσμου. (Beichner, 1994), (Glazer, 2011).

Για την άρση αυτών των δυσκολιών έχει προταθεί από παλιά μια ευρεία γκάμα εκπαιδευτικών τεχνικών.(Tinker & Stringer, 1978) (Thornton, 1992). Πολλές από αυτές τις τεχνικές στηρίζονται στην χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών. (Blikstein, 2011)

Μια πολύ διαδεδομένη τεχνική είναι αυτή της χρήσης, μικροεπεξεργαστών και συγκεκριμένα της ανοιχτού λογισμικού πλατφόρμας Arduino (Huang, 2015).

Χρησιμοποιώντας αυτή την πλατφόρμα οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές μπορούν να σχεδιάσουν πειράματα των φυσικών επιστημών ώστε οι μαθητές να μπορούν να κάνουν την σύνδεση μεταξύ φυσικών φαινομένων και της γραφικής τους αναπαράστασης μέσω της συλλογής και της ανάλυσης δεδομένων (Nichols, 2017). Στην πλατφόρμα Arduino συνδέονται αισθητήρες, οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα και με τον κατάλληλο προγραμματισμό, μπορούν αυτά τα δεδομένα να παρασταθούν γραφικά αναδεικνυοντάς την σε ένα πολύτιμο εργαλείο για το σχεδιασμό και την πραγματοποίηση πειραμάτων στο εργαστήριο.

Η δική μας πρόταση προσπαθεί να συνδυάσει την επιτυχημένη αυτή πρακτική με μια σύγχρονη πρακτική στην εκπαίδευση, αυτή της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αρκετά σχολεία έχουν στην διάθεσή τους τρισδιάστατους εκτυπωτές με τους οποίους οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές μπορούν και κατασκευάζουν φυσικά αντικείμενα που τα χρησιμοποιούν στην εκπαιδευτική διαδικασία. Τα οφέλη που αποκομίζουν οι μαθητές από την ενασχόληση τους με την τρισδιάστατη εκτύπωση είναι πολλαπλά (Peels, 2017). Η τρισδιάστατη σχεδίαση αντικειμένων σε λογισμικά CAD βοηθάει στην ανάπτυξη της αντίληψής τους για τον τρισδιάστατο χώρο και ενισχύει την κριτική τους σκέψη. (Trust & Maloy, 2017). Επίσης η ενασχόληση των μαθητών με την τρισδιάστατη εκτύπωση βοηθάει στην εν γένει θετική τους στάση απέναντι στην εκπαιδευτική διαδικασία και τους φέρνει κοντά σε μια σημαντική τεχνολογία η οποία αναμένεται να κυριαρχήσει τα επόμενα χρόνια (Holstermann et al., 2010).

Στο συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιείται επίσης επικουρικά και το λογισμικό Tracker για έναν πρώτο έλεγχο της λειτουργίας της πειραματικής συσκευής και για την αντιπαραβολή διαγραμμάτων της κίνησης. Το πρόγραμμα ιχνηλασίας Tracker έχει αναδειχθεί σε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο πειραμάτων για κάθε σχολικό εργαστήριο φυσικής (Beichner, 1996). Πρόκειται για λογισμικό το οποίο επιτρέπει την ανάλυση ενός φυσικού φαινομένου με την βοήθεια video, καθώς και την μοντελοποίηση ενός φυσικού φαινομένου.

## **ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ**

Οι στόχοι που θέσαμε για το συγκεκριμένο διδακτικό σενάριο ήταν οι μαθητές:

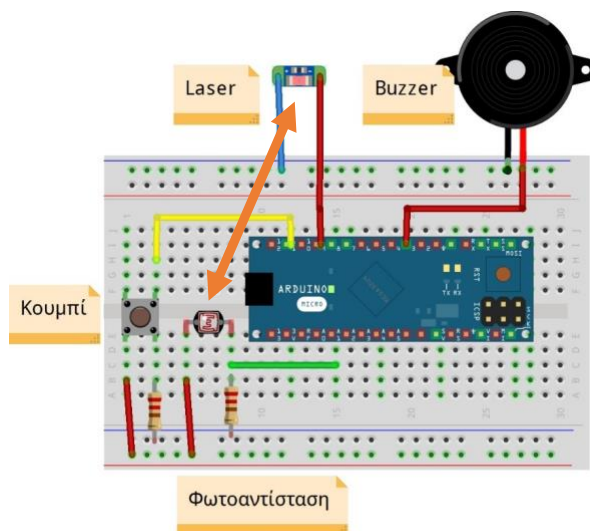
- Να κατανοήσουν τη λειτουργία των φωτοπυλών και την χρησιμότητά τους σε ένα εργαστήριο φυσικής
- Να συλλέξουν και να επεξεργαστούν πειραματικά δεδομένα
- Να πραγματοποιούν γραφικές παραστάσεις και να αντλούν πληροφορίες από αυτές
- Να χρησιμοποιούν προγράμματα λογιστικών φύλλων για να πραγματοποιούν γραφικές παραστάσεις
- Να κατασκευάζουν απλά ηλεκτρικά κυκλώματα
- Να προγραμματίζουν σε περιβάλλον Scratch
- Να σχεδιάζουν 3d μοντέλα σε λογισμικά CAD και να χρησιμοποιούν την τρισδιάστατη εκτύπωση

Το σενάριο που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα εκπαιδευτήρια ΠΑΛΛΑΔΙΟ ΒΑΡΗΣ το σχολικό έτος 2017-2018 με μαθητές της Β' Γυμνασίου. Το σενάριο χωρίστηκε στις παρακάτω φάσεις:

- Σχεδιασμός κυκλώματος φωτοπυλών
- Προγραμματισμός του Arduino
- Σχεδιασμός πειραματικής συσκευής-τρισιδιάστατη εκτύπωση των φωτοπυλών
- Πειράματα μελέτης κινήσεων

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΦΩΤΟΠΥΛΩΝ

Αρχικά οι μαθητές πληροφορήθηκαν από τους εκπαιδευτικούς και το διαδίκτυο για την αρχή λειτουργίας των φωτοπυλών και για την μεγάλη χρησιμότητα που έχουν σε πειράματα φυσικής και ιδιαίτερα σε πειράματα κινήσεων όπου η ακρίβεια στην μέτρηση του χρόνου παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην μελέτη των φαινομένων. Παρακολούθησαν βίντεο με διατάξεις φωτοπυλών που υπάρχουν διαθέσιμες στο εμπόριο και κατέγραψαν τα βασικά τους μέρη. Στη συνέχεια δόθηκε στους μαθητές το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 1 μαζί με τα απαραίτητα εξαρτήματα για να το κατασκευάσουν. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η συνδεσμολογία για μια φωτοπύλη. Οι μαθητές κατασκεύασαν συνολικά τέσσερις.



*Σχήμα 1: Συνδεσμολογία συστήματος φωτοπυλών*

Η κάθε φωτοπύλη δημιουργείται από ένα laser ρυθμισμένο να ρίχνει τη δέσμη φωτός του απευθείας σε ένα φωτοαντιστάτη. Τα δύο στοιχεία συνδέονται σε ένα Arduino nano.

Ο φωτοαντιστάτης είναι αναλογικός αισθητήρας και μετρά την ένταση του φωτός που προσπίπτει πάνω του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μετρά την ένταση της δέσμης φωτός του αντίστοιχου λέιζερ. 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 τη διαφορά των τιμών στις δυο καταστάσεις, την εκμεταλλευόμαστε για να δημιουργήσουμε το πρόγραμμα των φωτοπυλών που τελικά θα διαβάζει τις χρονικές στιγμές. Σ' αυτή τη φάση οι μαθητές εξοικειώθηκαν με την λειτουργία του κυκλώματος και τις τιμές που μετρούσαν οι φωτοαντιστάτες.

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 ώστε να καταλαβαίνουμε αν όντως έχει γίνει η μέτρηση και το κουμπί χρησιμεύει για το μηδενισμό των μετρήσεων.

## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ARDUINO

Το Arduino προγραμματίστηκε αρχικώς από τους εκπαιδευτικούς με την γλώσσα προγραμματισμού Wiring στο περιβάλλον προγραμματισμού IDE του Arduino. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα δημιουργήθηκε μαζί με τους μαθητές στη γλώσσα οπτικού προγραμματισμού Scratch, η οποία είναι πιο εύκολα κατανοητή σε μικρές ηλικίες. Το σύστημα καταγράφει την χρονική στιγμή που διακόπτεται η δέσμη φωτός ενός λέιζερ, δηλαδή κάθε φορά που ένα αντικείμενο διασχίζει μια φωτοπύλη. Με αυτό τον τρόπο καταγράφονται τέσσερις χρονικές στιγμές  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  και  $t_4$  κατά την ευθύγραμμη πορεία του αντικειμένου πάνω στην επιφάνεια. Στη συνέχεια, εκλαμβάνοντας την πρώτη χρονική στιγμή ως έναρξη των μετρήσεων υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάστηκε ένα αντικείμενο να περάσει την δεύτερη, την τρίτη και την τέταρτη φωτοπύλη ( $Dt_1$ ,  $Dt_2$  και  $Dt_3$ ).

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.



```
Fotopyles_x4_PHYSICS_v2.ino $
//Erase times and differences
buttonState = digitalRead(button);

digitalWrite(laser1,HIGH); //Lasers on
digitalWrite(laser2,HIGH);
digitalWrite(laser3,HIGH);
digitalWrite(laser4,HIGH);

photoresistorValueA1 = analogRead(A1);
photoresistorValueA2 = analogRead(A2);
photoresistorValueA3 = analogRead(A3);
photoresistorValueA4 = analogRead(A4);

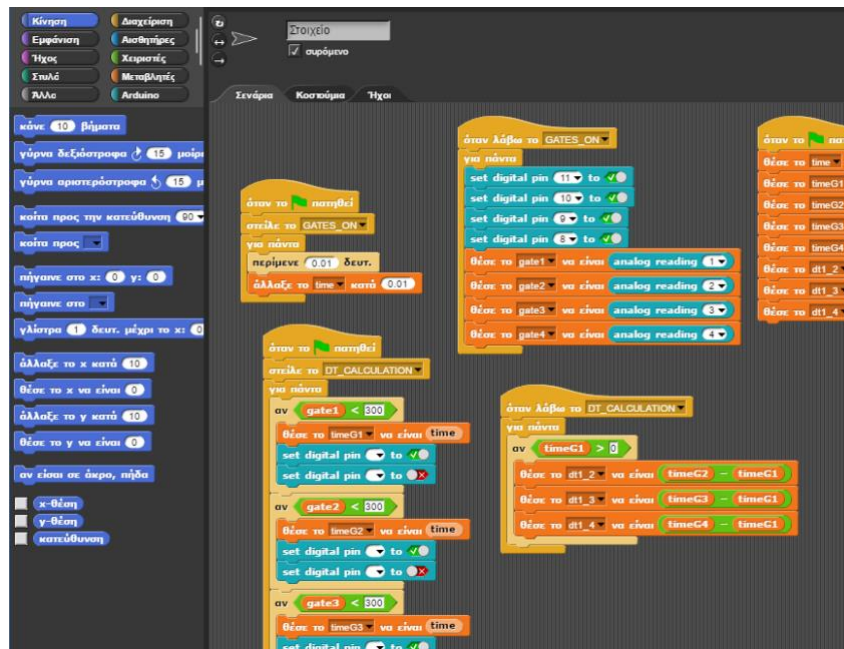
//prints photoresistors values
Serial.println("");
Serial.println("Photoresistor values");
Serial.println(photoresistorValueA1);
Serial.println(photoresistorValueA2);
Serial.println(photoresistorValueA3);
Serial.println(photoresistorValueA4);

delay(100); // value updated every 0.1 second, 100millisecont.

//Get time stamps

if (photoresistorValueA1 < photoresistorInput)
{
```

*Σχήμα 2: Στιγμιότυπο προγράμματος φωτοπυλών στην γλώσσα Wiring του Arduino*



Σχήμα 3: Στιγμιότυπο προγράμματος φωτοπυλών στη γλώσσα Scratch

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ – ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΦΩΤΟΠΥΛΩΝ

Στη φάση αυτή έγιναν οι επιλογές για το σχεδιασμό της πειραματικής συσκευής. Δεδομένου ότι οι φωτοπύλες έπρεπε να είναι σταθερά προσαρμοσμένες στην συσκευή για την σωστή λειτουργία τους, χρησιμοποιήσαμε μια σανίδα τύπου MDF 120cm x 30cm, πάνω στην οποία προσαρμόσαμε το σύστημα των φωτοπυλών.

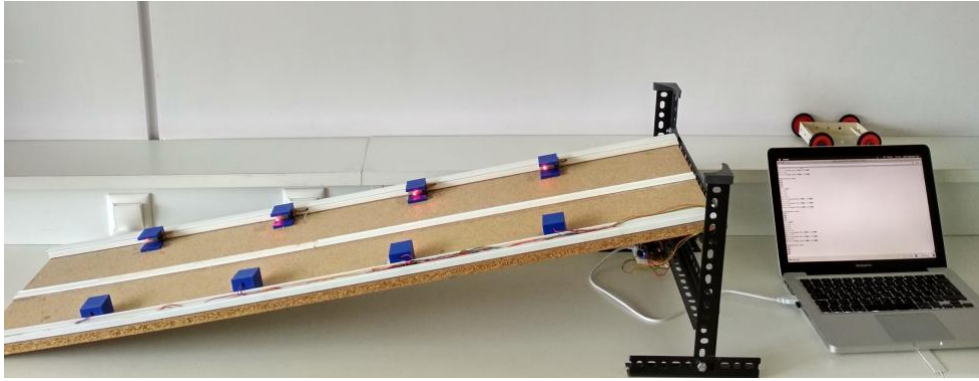
Για να καλύψουμε όσο το δυνατόν περισσότερες περιπτώσεις κινήσεων, αποφασίσαμε μαζί με τους μαθητές να φτιάξουμε μια αυτοσχέδια βάση ώστε να δημιουργήσουμε ένα κεκλιμένο επίπεδο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε σιδερογωνιές τύπου Dexion, οι οποίες συναρμολογήθηκαν από τους μαθητές. Με την κατασκευή αυτή μπορούμε να μελετάμε τις κινήσεις των αντικειμένων σε δύο προκαθορισμένες γωνίες, έχοντας πάντα τη δυνατότητα παρατήρησης των σχεδόν ομαλών κινήσεων, όταν τοποθετούμε την σανίδα παράλληλα στον πάγκο εργασίας.

Για την στήριξη των φωτοπυλών οι μαθητές σχεδίασαν πλαστικές βάσεις οι οποίες σχεδιάστηκαν στην πλατφόρμα τρισδιάστατης σχεδίασης Tinkercad, και τις εκτύπωσαν στον τρισδιάστατο εκτυπωτή του σχολείου.

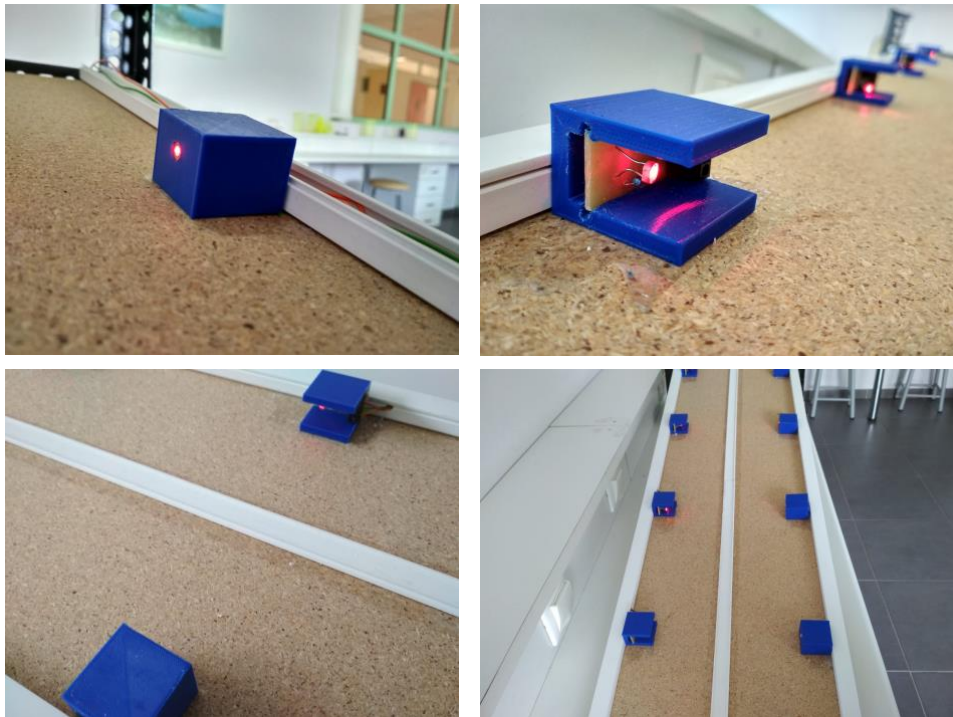
Οι φωτοπύλες τοποθετήθηκαν σε απόσταση 25cm η μια από την άλλη. Στόχος μας είναι το τελικό σχέδιο της πειραματικής διάταξης να έχει τουλάχιστον 10 φωτοπύλες, ώστε να μπορούμε να βγάλουμε αξιόπιστα διαγράμματα από τα πειραματικά σημεία.

Η πειραματική συσκευή με τις τέσσερις φωτοπύλες φαίνονται στο Σχήμα 4 και στο Σχήμα 5.





*Σχήμα 4: Η πειραματική συσκευή με τις τέσσερις φωτοπύλες*



*Σχήμα 5: Η πειραματική συσκευή με τις τέσσερις φωτοπύλες*

## **ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ**

### **Πείραμα 1 : Μελέτη της κίνησης κατά την άνοδο σε κεκλιμένο επίπεδο**

Η άνοδος ενός σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο αποτελεί περίπτωση επιβραδυνόμενης κίνησης, η οποία κατά προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ομαλά επιβραδυνόμενη.

Από την βάση του επιπέδου εκτοξεύσαμε παράλληλα στο επίπεδο μια μπάλα με σκοπό να εκτελέσει κύλιση. Τη στιγμή διέλευσης από την πρώτη φωτοπύλη ξεκινούν οι μετρήσεις και με τον τρόπο αυτό παίρνουμε τις ενδείξεις για τις χρονικές στιγμές που διέρχονται από τις υπόλοιπες θέσεις για τις οποίες γνωρίζουμε τις θέσεις.

Από τις μετρήσεις που πήραμε υπολογίσαμε τα πηλίκια των μετατοπίσεων προς τις χρονικές διάρκειες και με τον τρόπο αυτό υπολογίσαμε την ταχύτητα.

Παράλληλα, έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε τη γραφική παράσταση της ταχύτητας σε

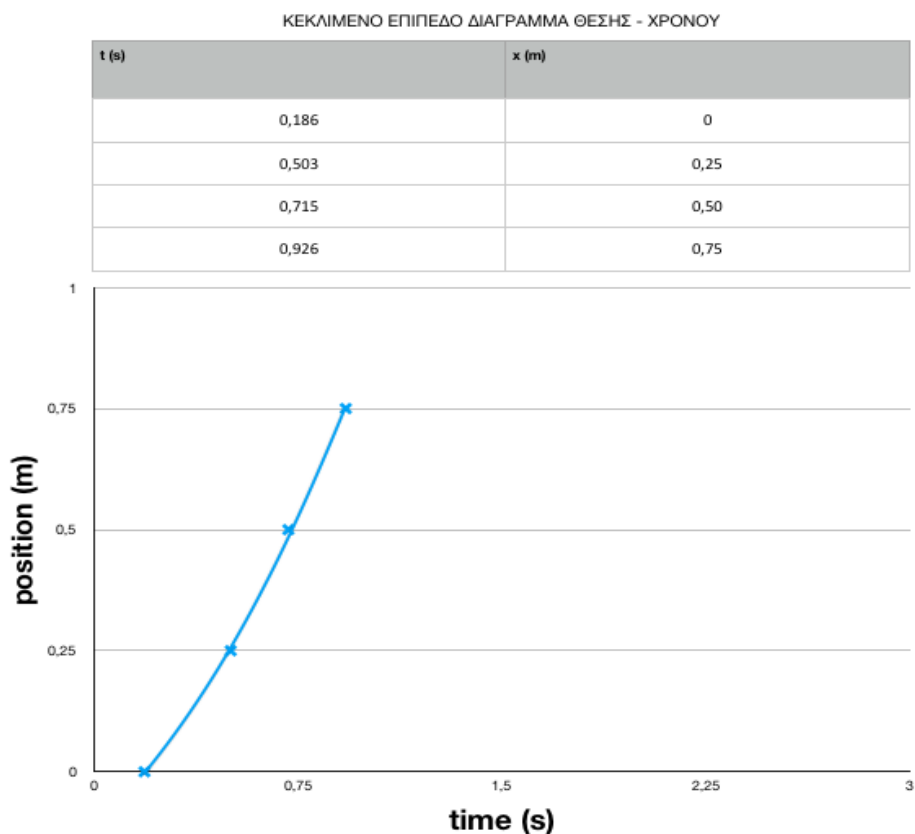
συνάρτηση με το χρόνο και τη θέση σε συνάρτηση με το χρόνο.

Την ίδια κίνηση την καταγράψαμε σε video και την αναλύσαμε με το πρόγραμμα Tracker.

### Πείραμα 2 : Μελέτη της κίνησης κατά την κάθοδο σε κεκλιμένο επίπεδο

Η κάθοδος ενός σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο είναι επιταχυνόμενη κίνηση, η οποία κατά προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ομαλά επιταχυνόμενη.

Από την κορυφή του κεκλιμένου επιπέδου αφήνουμε να κυλήσει ένα αυτοκινητάκι και ακολουθούμε την ίδια μεθοδολογία με το πρώτο πείραμα. Καταγράφουμε τις μετρήσεις θέσης και χρόνου και πραγματοποιούμε το αντίστοιχο διάγραμμα. Η γραφική παράσταση για την κάθοδο σε κεκλιμένο επίπεδο φαίνεται στο Σχήμα 6. Με το λογισμικό Tracker και την ανάλυση του video του ίδιου πειράματος κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση θέσης – χρόνου όπως

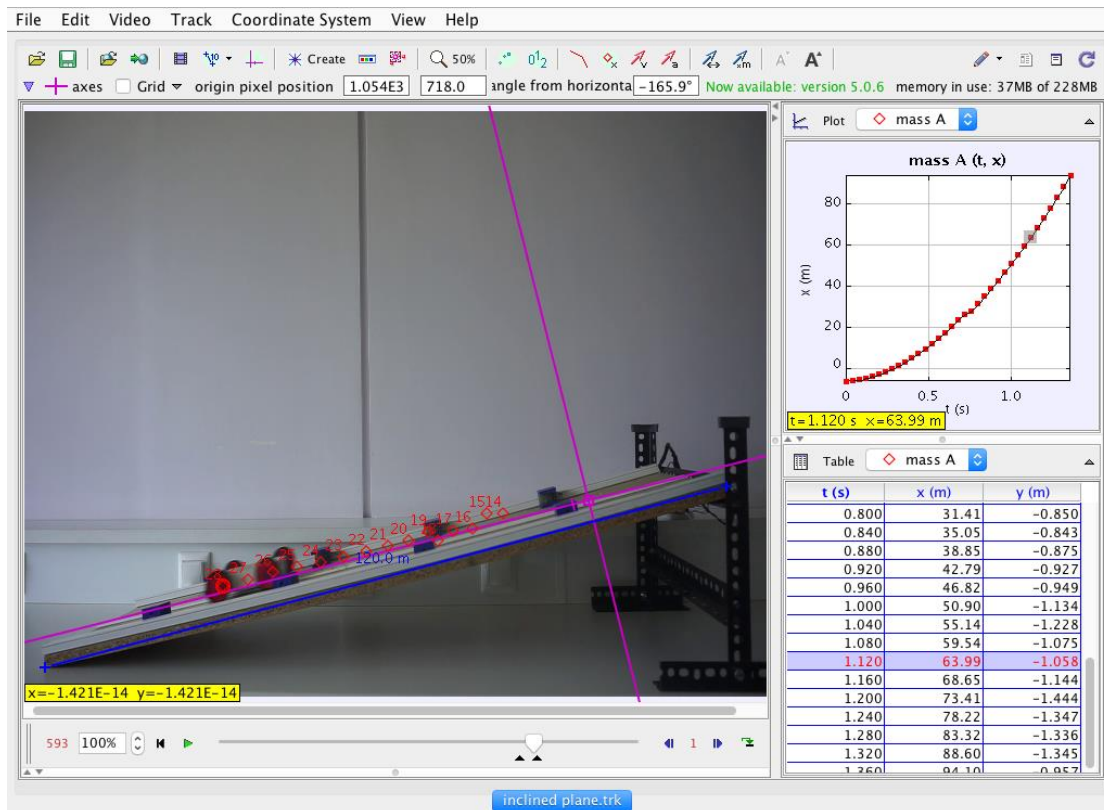


φαίνεται στο Σχήμα 7.

*Σχήμα 6: Κάθοδος σε κεκλιμένο επίπεδο, διάγραμμα θέσης-χρόνου*

### Πείραμα 3: Μελέτη κύλισης σε οριζόντιο επίπεδο

Στο οριζόντιο επίπεδο η κύλιση χωρίς ολίσθηση αποτελεί κίνηση που μπορεί να θεωρηθεί Ευθύγραμμη Ομαλή. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα προηγούμενα πειράματα με τη βοήθεια των φωτοτυλών και του Tracker μας οδηγεί σε συλλογή μετρήσεων, η επεξεργασία των οποίων μας οδηγεί σε συμπεράσματα για την κίνηση αυτή.



Σχήμα 7: Κάθοδος σε κεκλιμένο επίπεδο, διάγραμμα θέσης-χρόνου με το λογισμικό Tracker

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Στο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό σενάριο παρουσιάστηκε μια πρόταση για διεπιστημονική προσέγγιση των μαθημάτων της Φυσικής και της Πληροφορικής που στοχεύει στην καλλιέργεια από τους μαθητές, δεξιοτήτων που σχετίζονται με τον προγραμματισμό, τις κατασκευές, την τρισδιάστατη εκτύπωση καθώς και με την επεξεργασία και ανάλυση ορθών πειραματικών μετρήσεων από πειράματα της κινηματικής. Τα αποτελέσματα από τα πειράματα που διεξήγαγαν οι μαθητές ήταν σε πολύ καλό βαθμό σύμφωνα με τα θεωρητικώς αναμενόμενα. Επίσης παρατηρήθηκε μια έντονη αύξηση στο ενδιαφέρον των μαθητών όσον αφορά στις δραστηριότητες του προγράμματος αλλά και των μαθημάτων της φυσικής και της πληροφορικής γενικότερα.

Στα μελλοντικά μας plána συγκαταλέγονται η τελειοποίηση της πειραματικής μας συσκευής ώστε να περιλαμβάνει περισσότερες φωτοπίλεις για περισσότερες και πιο έγκυρες πειραματικές μετρήσεις, καθώς και η δημιουργία αντίστοιχων σεναρίων που θα συνδυάζουν τις διάφορες τεχνολογίες μικροεπεξεργαστών για την συλλογή και την ανάλυση δεδομένων από διάφορα πειράματα στο πεδίο των θετικών επιστημών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Asghar A., Ellington R., Rice E., Johnson F., & Prime, G. M. (2012), Supporting STEM education in secondary science contexts. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 6(2), 4.



Beichner R.J. (1994), Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics* 1994 62:8, 750-762.

Beichner R.J. (1996), The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills. *American Journal of Physics* 64, 1272.

Blikstein P. (2013), Gears of our childhood: constructionist toolkits, robotics, and physical computing, past and future *Proceeding of the 12<sup>th</sup> International Conference on Interaction Design and Children* Pages 173-182.

Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, M.I.I. Press.

Holstermann, N., Grube, D. & Bögeholz, S. *Res Sci Educ* (2010) 40: 743.

Huang, B. (2015), Open-source Hardware – Microcontrollers and Physics Education – Integrating DIY Sensors and Data Acquisition with Arduino Paper presented at 2015 ASEE Annual Conference & Exposition, Seattle, Washington. 10.18260/p.24542.

Huleihil M (2017), 3D printing technology as innovative tool for math and geometry teaching applications *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 164 012023.

Nichols D. (2017), Arduino-Based Data Acquisition into Excel, LabVIEW, and MATLAB. *The Physics Teacher* 55, 226.

Peels J. (2017), 3D Printing in Education: How Can 3D Printing Help Students?  
<https://3dprint.com/165585/3d-printing-in-education/>

Tinker R.F., Stringer G.A. (1978), Microcomputers! Applications to physics teaching *The Physics Teacher* 16, 436.

Thornton R.K. (1992), Tools for Scientific Thinking: Learning Physical Concepts with Real-Time Laboratory Measurement Tools. In: Scanlon E., O'Shea T. (eds) *New Directions in Educational Technology*. NATO ASI Series (Series F: Computer and Systems Sciences), vol 96. Springer, Berlin, Heidelberg.

Torrey Trust & Robert W. Maloy (2017) Why 3D Print? The 21<sup>st</sup>-Century Skills Students Develop While Engaging in 3D Printing Projects, *Computers in the Schools*, 34:4, 253-266.

