

# Η αξιοποίηση του STEM στη μελέτη της οριζόντιας βολής

Νικόλαος Κυριακόπουλος

[nkyriak@gmail.com](mailto:nkyriak@gmail.com)

ΓΕΛ Νεμέας

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 37 μαθητές της Β' τάξης του Γενικού Λυκείου κατά τη διδασκαλία του μαθήματος της φυσικής θετικής κατεύθυνσης. Συγκεκριμένα σχεδιάστηκε, εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε μια διδακτική προσέγγιση που είχε ως σκοπό να μελετήσουν οι μαθητές το φαινόμενο της οριζόντιας βολής ακολουθώντας διαδικασίες STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Η δομή του διδακτικού σεναρίου με το οποίο πραγματοποιήθηκε η διδακτική πρακτική βασίστηκε στις αρχές της ανακαλυπτικής μάθησης όπου οι μαθητές εργαζόμενοι σε ομάδες προσπάθησαν να ανακαλύψουν τους νόμους που διέπουν το φαινόμενο της οριζόντιας βολής. Στη συνέχεια της εργασίας αναλύεται το διδακτικό σενάριο (σχέδιο μαθήματος, φύλλο εργασίας και φύλλο αξιολόγησης) καθώς και ο τρόπος με τον οποίο εντάχθηκε η μεθοδολογία STEM στη διδακτική πρακτική.

**Λέξεις κλειδιά:** STEM, οριζόντια βολή, ανακαλυπτική μάθηση

## Εισαγωγή

Στην καθημερινή τους ζωή οι μαθητές συναντούν πολλές περιπτώσεις βολών, (οριζόντιων, κατακόρυφων και πλάγιων), όπως η βολή μιας μπάλας του μπάσκετ, η ρίψη ενός αντικειμένου από ένα τραπέζι κ.α. Έτσι η οριζόντια βολή αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι στη μελέτη των κινήσεων (Βλάχος κ.α., 2014; Δαπόντες κ.α., 1996). Στο διδακτικό σενάριο που εφαρμόστηκε στη σχολική τάξη, οι μαθητές ακολουθώντας διαδικασίες STEM μελέτησαν την οριζόντια βολή και καθοδηγήθηκαν ώστε να ανακαλύψουν τους νόμους που τη διέπουν. Με το STEM ακολουθείται μια ολιστική προσέγγιση της νέας γνώσης σύμφωνα την οποία οι μαθητές εμπλέκοντας και αξιοποιώντας τις Φυσικές Επιστήμες (Science), την Τεχνολογία (Technology), την Εφαρμοσμένη Μηχανική (Engineering) και τα Μαθηματικά (Mathematics) προσπαθούν να ανακαλύψουν τη νέα γνώση (Moon et. al., 2012). Άλλωστε η στοχοθεσία μια διδακτικής πρακτικής με βάση το STEM περιλαμβάνει και τους τρεις τομείς συμπεριφοράς, τον γνωστικό, τον συναισθηματικό και τον ψυχοκινητικό, όπως επίσης και τη μεθοδολογία των φυσικών επιστημών (Ζησιμόπουλος κ.α., 2002).

## Περιγραφή του διδακτικού σεναρίου που εφαρμόστηκε στην τάξη

### Σχέδιο μαθήματος

#### Διδακτικοί στόχοι:

Με τη διδασκαλία αυτού του μαθήματος οι μαθητές έπρεπε:

1. Να συναρμολογήσουν μια πειραματική διάταξη πραγματοποίησης οριζόντιας βολής.

2. Να βιντεοσκοπίσουν την κίνηση μιας μικρής σφαίρας που εκτελεί οριζόντια βολή και να την αναλύσουν χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό ανάλυσης βίντεο.
3. Να επεξεργαστούν πειραματικές μετρήσεις, να σχεδιάσουν γραφικές παραστάσεις και να εξάγουν συμπεράσματα από αυτές, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού.
4. Να διακρίνουν ότι η οριζόντια βολή είναι υπέρθεση δυο επί μέρους κινήσεων και να αναγνωρίσουν τις κινήσεις αυτές.
5. Να προσδιορίσουν τις εξισώσεις κίνησης και ταχύτητας στην οριζόντια βολή.
6. Να συνδέσουν τη νέα γνώση με αντίστοιχα φαινόμενα οριζόντιας βολής που συναντούν στην καθημερινή τους ζωή.
7. Να εργάζονται σε ομάδες.

#### Διδακτική μεθοδολογία:

Η διδακτική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η καθοδηγούμενη ανακάλυψη και επλέχθηκε διότι οι μαθητές ακολουθώντας συγκεκριμένη πορεία ανακαλύπτουν τη νέα γνώση, ενώ παράλληλα ο διδάσκων δεν χάνει καθόλου τον έλεγχο της διδακτικής πρακτικής. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν είναι χρονοβόρα και έχει αρκετά καλή απόκριση στην ελληνική σχολική πραγματικότητα (Χαλκιά, 2012; Ζησιμόπουλος κ.α., 2002).

#### Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Η ανάλυση του βίντεο της οριζόντιας βολής έγινε με το λογισμικό Tracker έκδοση 4.86. Το λογισμικό είναι ελεύθερο και αναζητείται στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker> μαζί με τις οδηγίες χρήσης. Το λογισμικό Tracker προσφέρει δυνατότητες για την ιχνηλασία των σωμάτων που κινούνται, την επεξεργασία δεδομένων και την γραφική απεικόνιση της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης των σωμάτων αυτών. Συγκεκριμένα βιντεοσκοπήθηκε η οριζόντια βολή της μικρής σφαίρας και στη συνέχεια με το Tracker η κίνηση αναλύθηκε “καρέ-καρέ”.

Η σχεδίαση των γραφικών παραστάσεων και η ανάλυσή τους έγινε με το λογισμικό Graph που είναι ελεύθερο και αναζητείται στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.padowan.dk/download>.

#### Διάρκεια διδασκαλίας:

Το διδακτικό σενάριο πραγματοποιήθηκε σε τρεις διδακτικές ώρες. Δυο ώρες απαιτήθηκαν για την πραγματοποίηση του φύλλου εργασίας και μια για το φύλλο αξιολόγησης. Πριν την εφαρμογή του διδακτικού σεναρίου προηγήθηκε η εισαγωγή των μαθητών στη «φιλοσοφία» της ανάλυσης βίντεο (Bryan, 2005) και η εκμάθηση των λογισμικών Tracker και Graph.

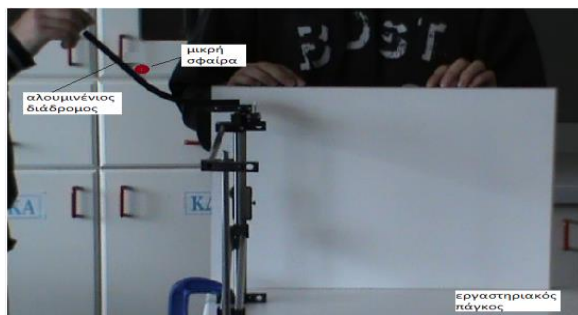
#### Οργάνωση της τάξης:

Οι 37 μαθητές (20 το σχολικό έτος 2014-2015 και 17 το σχολικό έτος 2015-2016) χωρίστηκαν σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων η καθεμιά ((Ματσαγγούρας, 2000). Σε κάθε ομάδα έγινε προσπάθεια οι δεξιότητες του κάθε μέλους να συνδεθούν με το αντίστοιχο τμήμα της STEM πρακτικής, όπως για παράδειγμα κάποιος μαθητής να αναλαμβάνει κυρίως τη συναρμολόγηση της πειραματικής διάταξης.

#### Απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή:

Η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε στο Σχολικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών (ΣΕΦΕ) με τον εξής υλικοτεχνικό και εργαστηριακό εξοπλισμό:

- Μια πειραματική διάταξη πραγματοποίησης οριζόντιας βολής όπως φαίνεται στην εικόνα 1.



**Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη πραγματοποίησης οριζόντιας βολής.**

Ο αλουμινένιος διάδρομος εφαρμόζει πάνω σε μια βάση και η όλη διάταξη στηρίζεται ακλόνητα στον εργαστηριακό πάγκο. Από την κορυφή του αλουμινένιου διαδρόμου αφήνεται να κυλίσει μια μικρή σφαίρα. Η σφαίρα εξέρχεται από το διάδρομο με μια αρχική ταχύτητα και εκτελώντας οριζόντια βολή συναντά στο τέλος της διαδρομής της τον οριζόντιο εργαστηριακό πάγκο.

- Μια βιντεοκάμερα για βιντεοσκόπηση της οριζόντιας βολής της σφαίρας.
- Ένας βιντεοπροβολέας.
- Ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής ανά ομάδα εργασίας με εγκατεστημένα τα κατάλληλα λογισμικά.
- Μια φωτοπύλη συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό χρονόμετρο.

### **Φύλλο εργασίας**

#### Στάδιο αφόρμησης:

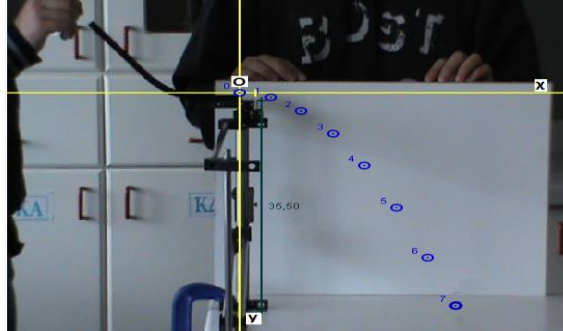
Η διδασκαλία ξεκίνησε ζητώντας ο διδάσκων από τους μαθητές να αναφέρουν παραδείγματα βολών από την καθημερινή ζωή και από τις γενικότερες γνώσεις τους. Ο διδάσκων ζήτησε επίσης από τις ομάδες να σχεδιάσουν και να πραγματοποιήσουν απλά πειράματα οριζόντιας βολής σωμάτων και να καταγράψουν τις παρατηρήσεις τους.

#### Δραστηριότητες:

1. Ζητήθηκε από τους μαθητές να συναρμολογήσουν την πειραματική διάταξη τους εικόνας 1, δίνοντάς τους κατάλληλες οδηγίες συναρμολόγησης. Η συγκεκριμένη διάταξη χρησιμοποιήθηκε τόσο στο φύλλο εργασίας όσο και στο φύλλο αξιολόγησης και για αυτό απαιτήθηκε από όλες τις ομάδες να εργαστούν με την ίδια διάταξη η οποία υπάρχει σε οχτάδες στα ΣΕΦΕ των Γενικών Λυκείων.

2. Από την κορυφή του αλουμινένιου διαδρόμου αφήνεται να κυλίσει μια μικρή σφαίρα. Η σφαίρα εξέρχεται από το διάδρομο με μια αρχική ταχύτητα  $u_0$  και εκτελώντας οριζόντια βολή συναντά στο τέλος της διαδρομής της τον οριζόντιο εργαστηριακό πάγκο. Προκειμένου οι μαθητές να ιχνηλατήσουν την κίνηση της σφαίρας, βιντεοσκόπησαν την

πορεία της και την ανέλυσαν “καρέ-καρέ” με το λογισμικό Tracker (εικόνα 2). Το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών καρέ είναι 0,04s.



Εικόνα 2: Η κίνηση της σφαίρας καρέ-καρέ στο περιβάλλον του λογισμικού Tracker.

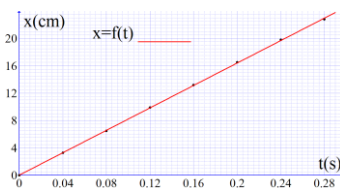
Το λογισμικό Tracker προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής των συντεταγμένων (x,y) των διαδοχικών σημείων από τα οποία διέρχεται η σφαίρα κατά τη διάρκεια της κίνησής της. Έτσι οι μαθητές συμπλήρωσαν τον παρακάτω πίνακα 1.

Πίνακας 1. Πειραματικές μετρήσεις

t(s)	t <sup>2</sup> (x10 <sup>-4</sup> s <sup>2</sup> )	x(cm)	y(cm)
0	0	0	0
0,04		3,3	0,8
0,08	64	6,5	3,0
0,12		9,9	6,9
0,16	256	13,2	12,3
0,20		16,5	19,4
0,24	576	19,8	27,9
0,28		22,8	35,9

3.

α) Με βάση τις τιμές του πίνακα 1, οι μαθητές σχεδίασαν τη γραφική παράσταση x-t.



Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση x-t.

Από τη γραφική παράσταση x-t και δεδομένου ότι στην οριζόντια διεύθυνση (ημιάξονας Ox) δεν ασκούνται δυνάμεις στη σφαίρα, οι μαθητές καθοδηγήθηκαν να διαπιστώσουν ότι στην οριζόντια διεύθυνση η σφαίρα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση.

β) Από την κλίση της ευθείας στο διάγραμμα x-t υπολογίστηκε το μέτρο της ταχύτητας της σφαίρας:

$$\text{Κλίση} = \Delta x / \Delta t = 82 \text{ cm/s} = u = u_0$$

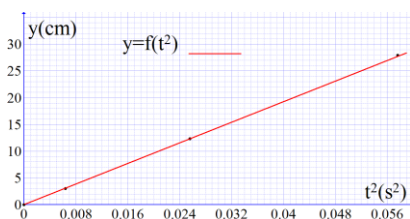
γ) Με βάση τα παραπάνω οι μαθητές προσδιόρισαν την εξίσωση της ταχύτητας και την εξίσωση της κίνησης για την κίνηση της σφαίρας στην οριζόντια διεύθυνση:

$$u_x = 82 = u_0 \quad (u \text{ σε cm/s})$$

$$x = 82 \cdot t \quad (x \text{ σε cm } t \text{ σε s})$$

4.

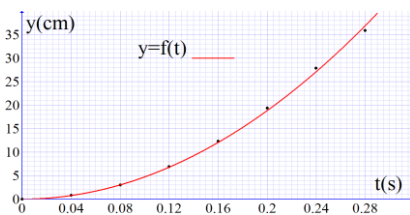
α) Με βάση τους τιμές του πίνακα 1, οι μαθητές σχεδίασαν τη γραφική παράσταση y-t<sup>2</sup>.



**Διάγραμμα 2: Γραφική παράσταση y-t<sup>2</sup>.**

Από τη γραφική παράσταση y-t<sup>2</sup> και δεδομένου ότι στην κατακόρυφη διεύθυνση (ημιάξονας Oy) η σφαίρα κινείται μόνο με την επίδραση του βάρους της και χωρίς αρχική ταχύτητα, οι μαθητές καθοδηγήθηκαν να διαπιστώσουν ότι η σφαίρα εκτελεί ελεύθερη πτώση.

β) Με τις πειραματικές τιμές του πίνακα 1 οι μαθητές σχεδίασαν τη γραφική παράσταση y-t,



**Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση y-t.**

γ) Από τον υπολογισμό της κλίσης της ευθείας στο διάγραμμα y-t<sup>2</sup> μπορεί να προσδιορισθεί η εξίσωση της κίνησης στην ελεύθερη πτώση της σφαίρας.

$$\text{Κλίση } k = \Delta y / \Delta t^2 = 481 \text{ cm/s}^2$$

$$\text{Άρα: } y = 481 \cdot t^2 \quad (t \text{ σε s και } y \text{ σε cm})$$

$$\text{ή } y = \frac{1}{2} \cdot 9,62 \cdot t^2 \quad (\text{S.I.})$$

Μάλιστα επειδή η θεωρητική τιμή τους επιτάχυνσης της βαρύτητας είναι  $g_0=9,81\text{m/s}^2$ , το σχετικό πειραματικό σφάλμα στον υπολογισμό του  $g$  είναι:

$$\sigma\% = \left| \frac{9,81 - 9,62}{9,81} \right| \cdot 100\% = 1,9\%$$

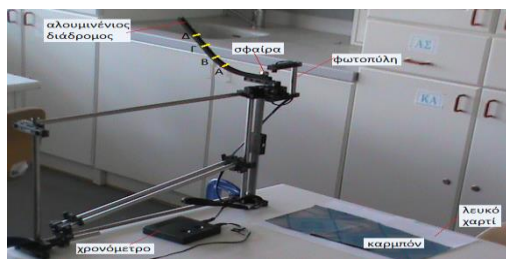
δ) Για την κίνηση της σφαίρας στην κατακόρυφη διεύθυνση η εξίσωση της ταχύτητας είναι:

$$u_y = 9,62 \cdot t \quad (t \text{ σε s και } u \text{ σε m/s})$$

5. Ζητήθηκε από τους μαθητές να σχεδιάσουν τα διαγράμματα  $u_x-t$  και  $u_y-t$ .

### Φύλλο αξιολόγησης

Για τη συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης κάθε ομάδα μαθητών πραγματοποιήσει πείραμα και έλαβε μετρήσεις, με τη βοήθεια της πειραματικής διάταξης που αναφέρεται και στο φύλλο εργασίας, με τη διαφορά ότι στο τέλος του αλουμινένιου διαδρόμου είχε τοποθετηθεί μια φωτοπύλη η οποία συνδεόταν με ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο (εικόνα 3).

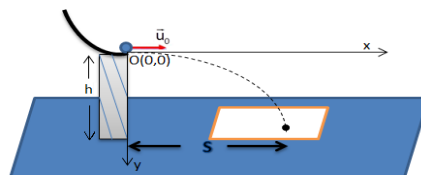


Εικόνα 3: Πειραματική διάταξη οριζόντιας βολής.

Αν από ένα σημείο του αλουμινένιου διαδρόμου αφήσουμε να κυλίσει μια μικρή σφαίρα διαμέτρου  $d$ , τότε αυτή εξέρχεται από το διάδρομο με μια αρχική ταχύτητα μέτρου  $u_0$ . Το χρονόμετρο μετράει το χρόνο  $\Delta t$  διέλευσης της σφαίρας διαμέτρου  $d=1,5\text{cm}$  μέσα από τη φωτοπύλη. Η αρχική ταχύτητα εκτόξευσης της σφαίρας  $u_0$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$u_0 = \frac{d}{\Delta t} \quad (1). \quad \text{Η σφαίρα εκτελεί οριζόντια βολή και συναντά τον οριζόντιο πάγκο}$$

αφήνοντας ένα ίχνος στο λευκό χαρτί που βρίσκεται κάτω από το καρμπόν. Για την καλύτερη μελέτη της οριζόντιας βολής λαμβάνουμε ως σύστημα αναφοράς το ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων  $xOy$  με αρχή  $O(0,0)$  το σημείο εκτόξευσης του σώματος όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Η απόσταση  $S$  μεταξύ της προβολής του σημείου εκτόξευσης στον πάγκο και του ίχνους στο λευκό χαρτί κάτω από το καρμπόν, ονομάζεται βελιηκέες.



### Σχήμα 1: Οριζόντια βολή.

#### Ερωτήσεις και δραστηριότητες:

1. Ζητήθηκε από τους μαθητές να δείξουν ότι για την οριζόντια βολή της σφαίρας η εξίσωση της παραβολικής τροχιάς δίνεται από τη σχέση:

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{x^2}{u_0^2} \quad (2)$$

όπου  $u_0$  το μέτρο της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης,  $x$  η οριζόντια μετατόπιση και  $y$  η κατακόρυφη μετατόπιση της σφαίρας από το σημείο  $O(0,0)$ .

2.

Εάν  $h$  είναι η κατακόρυφη απόσταση του σημείου εκτόξευσης από τον οριζόντιο πάγκο και  $S$  το βεληνεκές της σφαίρας (σχήμα 1), τότε η σχέση (2) μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$u_0^2 = \frac{g}{2h} \cdot S^2 \Rightarrow u_0 = \sqrt{\frac{g}{2h}} \cdot S \quad (3)$$

Από τη σχέση (3) προκύπτει ότι η γραφική παράσταση  $u_0 - S$  είναι μια ευθεία που διέρχεται από το μηδέν. Από την κλίση της ευθείας μπορούμε να υπολογίσουμε το  $g$ .

Με βάση την παραπάνω πληροφορία κάθε ομάδα έλαβε πειραματικές μετρήσεις με τον εξής τρόπο:

α) Η σφαίρα αφήνεται να κυλίσει από τη θέση Α του διαδρόμου και όταν συναντά τον οριζόντιο πάγκο αφήνει ένα ίχνος στο λευκό χαρτί κάτω από το καρμπόν. Μετράται το βεληνεκές  $S$  και σημειώνεται η μέτρηση στον πίνακα 2 μαζί με την ένδειξη του χρονομέτρου  $\Delta t$ . Στη συνέχεια υπολογίζεται η ταχύτητα  $u_0$  από τη σχέση (1) με στρογγυλοποίηση στη μονάδα και συμπληρώνεται η αντίστοιχη στήλη στον πίνακα 2.

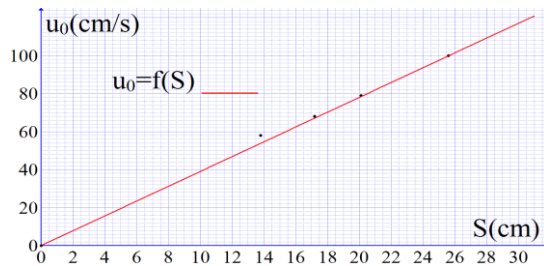
β) Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές τοποθετώντας τη σφαίρα διαδοχικά στις θέσεις Β, Γ και Δ.

**Πίνακας 2. Πειραματικές μετρήσεις και υπολογισμοί**

$\alpha/\alpha$ μέτρησης	$S(\text{cm})$	$\Delta t(\text{s})$	$u_0(\text{cm/s})$ [υπολογισμός από τη σχέση (1)]
1	0	-	0
2	13,8	0,026	58
3	17,2	0,022	68
4	20,1	0,019	79
5	25,6	0,015	100

3.

Με βάση τις τιμές του πίνακα 2 οι μαθητές σχεδίασαν σε μιλιμετρέ χαρτί (και όχι με το λογισμικό Graph) τη γραφική παράσταση  $u_0 - S$ .



Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση  $u_0 - S$ .

4.

α) Ζητήθηκε να υπολογιστεί η κλίση  $k$  της ευθείας από τη γραφική παράσταση  $u_0 - S$ .

$$\text{Κλίση } k = \Delta u_0 / \Delta S = 3,9 \text{ s}^{-1}$$

β) Από την κλίση της ευθείας υπολογίστηκε η τιμή του  $g$ . Για τους υπολογισμούς μετρήθηκε το ύψος  $h=35,5 \text{ cm}$ .

$$k = \sqrt{\frac{g}{2h}} \Rightarrow g = k^2 \cdot 2 \cdot h \Rightarrow g = 10,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

γ) Με βάση τις συγκεκριμένες μετρήσεις το σχετικό πειραματικό σφάλμα στον υπολογισμό του  $g$  είναι:

$$\sigma\% = \left| \frac{9,8 - 10,8}{9,8} \right| \cdot 100\% = 10\%$$

δ) Ζητήθηκε από τους μαθητές να αναφέρουν πιθανές αιτίες για την απόκλιση μεταξύ της θεωρητικής και της πειραματικής τιμής του  $g$ .

5. Στην τελευταία δραστηριότητα δόθηκε στους μαθητές η πληροφορία ότι αν η σφαίρα αφεθεί από την κορυφή του αλουμινένιου διαδρόμου, τότε ο χρόνος που απαιτείται για τη διέλευσή της μέσα από τη φωτοπύλη είναι  $\Delta t=0,013 \text{ s}$ . Με βάση αυτό το δεδομένο ζητήθηκε να βρουν οι μαθητές σε ποια θέση πρέπει να τοποθετηθεί ένα δοχείο με άμμο -που υπήρχε στον εργαστηριακό πάγκο- ώστε η σφαίρα μετά την εκτόξευσή της να μπει μέσα στο δοχείο.

$$u_0 = \frac{d}{\Delta t} = \frac{1,5 \text{ cm}}{0,013 \text{ s}} = 115 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Άρα από τη γραφική παράσταση  $u_0 - S$ , προκύπτει ότι για  $u_0=115 \text{ cm/s}$  είναι  $S=29,4 \text{ cm}$ .

Τέλος οι μαθητές εκτέλεσαν το αντίστοιχο πείραμα για να ελέγξουν την ορθότητα της απάντησής τους.



## Αξιολόγηση της διδακτικής προσέγγισης

Προκειμένου αξιολογηθεί η δομή του διδακτικού σεναρίου, η επίτευξη των διδακτικών στόχων (γνωστικών, συναισθηματικών και ψυχοκινητικών), τα διδακτικά εργαλεία (λογισμικά και πειραματική συσκευή) και η μεθοδολογία STEM (Κασσωτάκης, 1981; Gronlund, 1985), ο διδάσκων συνεκτίμησε και ανέλυσε τα εξής:

- Τις παρατηρήσεις του από την εφαρμογή του φύλλου εργασίας.
- Τις απαντήσεις των μαθητών στο φύλλο αξιολόγησης.
- Τη συνεργασία μεταξύ των μελών κάθε ομάδας όπως αυτή καταγράφηκε από τους μαθητές απαντώντας σε σχετική ερώτηση που υπήρχε στο τέλος του φύλλου αξιολόγησης.

Οι δραστηριότητες του φύλλου εργασίας πραγματοποιήθηκαν εργαζόμενοι οι μαθητές σε ομάδες, ενώ το φύλλο αξιολόγησης (εκτός από τη λήψη των μετρήσεων) συμπληρώθηκε από τον κάθε μαθητή ξεχωριστά.

### Παρατηρήσεις από το φύλλο εργασίας:

- Οι επτά από τις εννιά ομάδες συναρμολόγησαν σωστά την πειραματική συσκευή (εικόνα 1) και πραγματοποίησαν το αντίστοιχο πείραμα. Οι δυο ομάδες που δεν κατάφεραν τη συναρμολόγηση της συσκευής αντιμετώπισαν πρόβλημα κυρίως στη χρησιμοποίηση των εργαλείων για τη σωστή συναρμολόγηση των εξαρτημάτων. Να σημειωθεί ότι στις δυο αυτές ομάδες υπήρχαν και μαθητές με πολύ καλές θεωρητικές επιδόσεις στο μάθημα της φυσικής.

- Όλες οι ομάδες βιντεοσκόπησαν την οριζόντια βολή και μόνο μια ομάδα δεν κατόρθωσε να αναλύσει το βίντεο με το λογισμικό Tracker. Δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική δυσκολία στη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού.

- Όλες οι ομάδες χρησιμοποίησαν εύστοχα το λογισμικό Graph και σχεδίασαν σωστά τις γραφικές παραστάσεις που τους ζητήθηκαν.

- Εφτά ομάδες χρησιμοποίησαν εύστοχα τα εργαλεία του λογισμικού Graph, επεξεργάστηκαν σωστά τις γραφικές παραστάσεις (υπολογισμός κλίσης ευθείας κλπ.) και προσδιόρισαν σωστά τις εξισώσεις κίνησης και ταχύτητας στην οριζόντια βολή. Στις υπόλοιπες δυο ομάδες η δυσλειτουργία οφειλόταν κυρίως στην αδυναμία επεξεργασίας γραφικών παραστάσεων και στην έλλειψη ικανότητας σε μαθηματικούς χειρισμούς.

Να σημειωθεί ότι με την παρέμβαση και την καθοδήγηση του διδάσκοντος σε κάθε δραστηριότητα, όλες οι ομάδες πραγματοποίησαν τις δραστηριότητες και κάθε μαθητής συμπλήρωσε το φύλλο εργασίας του.

### Παρατηρήσεις από το φύλλο αξιολόγησης:

- Όλοι οι μαθητές εργαζόμενοι στις ομάδες τους έλαβαν τις πειραματικές μετρήσεις.

- Το 60% των μαθητών απέδειξε την εξίσωση της παραβολικής τροχιάς (σχέση 2). Το 22% χρησιμοποίησε σωστά τις εξισώσεις κίνησης στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση αλλά δεν κατάφερε να τις συνδυάσει ώστε να φθάσει στη σχέση (2). Το υπόλοιπο 18% έκανε κάποιες ατυχείς μαθηματικές πράξεις χωρίς να καταλήξει σε κάποιο αποτέλεσμα.

- Το 73% των μαθητών σχεδίασε σωστά τη γραφική παράσταση  $u_0 - S$ , ενώ το 27% ή δεν σχεδίασε καθόλου τη γραφική παράσταση ή τη σχεδίασε λανθασμένα. Έτσι μόνο το 65% προχώρησε στο σωστό υπολογισμό του  $g$  και τον υπολογισμό της απόστασης  $S$  που πρέπει να τοποθετηθεί το δοχείο με την άμμο. Από αυτή την παρατήρηση φάνηκε να υπάρχει μια υπεροχή του λογισμικού Graph έναντι του κλασικού τρόπου σχεδίασης και ανάλυσης μιας γραφικής παράστασης.

Παρατηρήσεις από την εργασία των μαθητών σε ομάδες:

- Σε όλες τις ομάδες η συνεργασία μεταξύ των μαθητών ήταν ικανοποιητική και αναδείχθηκαν συναισθήματα και καταστάσεις, όπως ο αλληλοσεβασμός, η αλληλοβοήθεια, η «ώσωση» ιδεών και δεξιοτήτων και κυρίως η αποδοχή του διαφορετικού.
- Σε κάθε ομάδα ήταν εμφανής η κατανομή "ρόλων" με αποτέλεσμα κάποιοι μαθητές να επιδίδονται καλύτερα στους ψυχοκινητικούς στόχους ενώ κάποιοι άλλοι στους γνωστικούς στόχους.
- Λίγοι μαθητές (περίπου το 16%) "παραπονέθηκαν" ότι η εργασία σε ομάδες τους καθυστερεί γνωστικά και δεν τους δίνει τη δυνατότητα να δείξουν τις πραγματικές γνωστικές τους ικανότητες. Να σημειωθεί ότι αυτοί οι μαθητές ήταν επιμελείς και είχαν μια σχετική ευχέρεια στο να λύνουν ασκήσεις!

**Συμπεράσματα-συζήτηση**

Το διδακτικό σενάριο στο σύνολό του κρίνεται επιτυχές, αφού κατά μέσο όρο οι γνωστικοί στόχοι επετεύχθησαν σε ένα ποσοστό περίπου 68%, ενώ οι συναισθηματικοί και οι ψυχοκινητικοί στόχοι σε ποσοστό 84%. Η καθοριστική συμβολή του λογισμικού Tracker έγκειται στην ιχνηλάτηση της οριζόντιας βολής, προσφέροντας ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία. Το λογισμικό Graph φάνηκε να εξυπηρετεί αρκετά τους μαθητές στην χάραξη και επεξεργασία γραφικών παραστάσεων αλλά πρέπει να χρησιμοποιείται με φειδώ και να δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να κάνουν την αντίστοιχη εργασία με τον κλασικό τρόπο σε μιλιμετρικό χαρτί, διότι σε αυτή τη δεξιότητα σημειώνεται μια σχετική υστέρηση. Και τα δυο λογισμικά (Tracker και Graph) χρησιμοποιήθηκαν με ευκολία από τους μαθητές. Τέλος καθένας από τους τέσσερις τομείς του STEM συσχετίστηκε με το διακριτό ρόλο που ανέλαβε κάθε μαθητής στην ομάδα του, ενώ η συμβολή του STEM ήταν ποιο καθοριστική στην επίτευξη των ψυχοκινητικών και συναισθηματικών στόχων.

Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας STEM για τη μελέτη και άλλων κινήσεων αλλά και η επέκταση της μεθοδολογίας και σε άλλους τομείς των φυσικών επιστημών. Άλλωστε σε ένα νέο σχολείο που έχει σκοπό να καλλιεργεί τις στάσεις και τις δεξιότητες των μαθητών και μεταξύ των άλλων να επενδύει και στον τεχνολογικό γραμματισμό τους (Χαλκιά, 2012), θα πρέπει να αναδεικνύονται όλες οι καινοτόμες προσπάθειες που λαμβάνουν υπόψη τους τα σύγχρονα διδακτικά εργαλεία και τις αρχές της παιδαγωγικής και διδακτικής επιστήμης.

**Αναφορές**

- Bryan, J. A. (2005). *Video Analysis. Learning & Leading with Technology*, 32(6), 22 – 24.
- Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., Τιμοθέου, Γ. (2014). *Φυσική Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών Β' Γενικού Λυκείου*. Αθήνα: ΙΤΥΕ-Διόφαντος.
- Δαπόντες, Ν., Κασσέτας, Α., Μουρίκης, Σ., & Σκιαθίτης, Μ. (1996). *Φυσική Α' Τάξης Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
- Ζησιμόπουλος, Γ., Καφετζόπουλος, Κ., Μουτζούρη-Μανούσου, Ε., Παπασταματίου, Ν. (2002). *Θέματα διδακτικής για τα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Πατάκης.
- Gronlund, N. (1985). *Measurement and evaluation in teaching*, 5<sup>th</sup> edition. New York: Macmillan and Company.
- Κασσωτάκης Μ. (1981). *Η αξιολόγηση της επίδοσης των μαθητών*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Ματσαγγούρας, Η. (2000). *Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Moon, J., Rundell, S., (2012). *Bringing STEM into Focus, Education Week*, vol. 31. no. 19 (February 1, 2012), pp. 32, 24. Ανάκτηση 2016, από: <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42642.pdf>

---

Χαλκιά, Κ. (2012), *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Πατάκης.