

## Ιχνηλατώντας την ομαλή κυκλική κίνηση μέσα από ένα διδακτικό σενάριο

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

Φυσικός, καθηγητής Γενικού Λυκείου Νεμέας

**Περίληψη:** Η παρούσα εργασία βασίζεται σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 19 μαθητές της Β΄ τάξης του Γενικού Λυκείου κατά την εφαρμογή ενός διδακτικού σεναρίου στα πλαίσια του μαθήματος της Φυσικής Θετικής Κατεύθυνσης. Το διδακτικό σενάριο που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο σύνολο των 19 μαθητών αφορούσε στη μελέτη της ομαλής κυκλικής κίνησης συνδυάζοντας ΤΠΕ και εργαστηριακή πρακτική. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ανάλυσης βίντεο Tracker σε συνδυασμό με μια υφιστάμενη πειραματική διάταξη πραγματοποίησης ομαλής κυκλικής κίνησης. Η δομή του σεναρίου βασίστηκε στις αρχές της ανακαλυπτικής μάθησης και οι μαθητές εργαζόμενοι σε ομάδες συμμετείχαν στη μαθησιακή διαδικασία με σκοπό να ανακαλύψουν τους νόμους που διέπουν την ομαλή κυκλική κίνηση. Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζεται το διδακτικό σενάριο που εφαρμόστηκε στη σχολική τάξη, ο τρόπος με τον οποίο εντάχθηκαν και συνδυάστηκαν οι ΤΠΕ με την εργαστηριακή πρακτική, καθώς και η μεθοδολογία της έρευνας μέσω της οποίας αξιολογήθηκε η εφαρμογή της συγκεκριμένης διδακτικής πρακτικής.

**Λέξεις κλειδιά:** Φυσική, ομαλή κυκλική κίνηση, ανακαλυπτική μάθηση, λογισμικό Tracker.

### Εισαγωγή

Στην καθημερινή τους ζωή οι μαθητές συναντούν πολλές περιπτώσεις κυκλικής κίνησης, όπως η κίνηση ενός αυτοκινήτου γύρω από μια κυκλική πλατεία, η κίνηση των πτερυγίων ενός ανεμιστήρα αλλά και η κίνηση της Σελήνης γύρω από τη Γη. Έτσι οι καμπυλόγραμμες κινήσεις και ειδικά η ομαλή κυκλική κίνηση αποτελούν πάντα ένα βασικό κομμάτι στη μελέτη των κινήσεων (Βλάχος κ.α., 2014; Δαπόντες κ.α., 1996). Επίσης η γνώση της ομαλής κυκλικής κίνησης αποτελεί προαπαιτούμενη γνώση για τη διδασκαλία της στροφικής κίνησης του στερεού σώματος στη Γ΄ Λυκείου.

Γενικά για την πειραματική μελέτη των κινήσεων εξυπηρετεί αρκετά ο προσδιορισμός και η επεξεργασία των “αποτυπωμάτων” που αφήνει ένα σώμα κατά την κίνησή του (Κασσέτας, 2000). Για το λόγο αυτό οι μαθητές, μελέτησαν την ομαλή κυκλική κίνηση ενός σώματος με τη βοήθεια του λογισμικού ανάλυσης βίντεο Tracker. Το λογισμικό Tracker προσφέρει δυνατότητες για την ιχνηλασία της κίνησης των σωμάτων, την επεξεργασία δεδομένων και την γραφική απεικόνιση της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης των σωμάτων αυτών. Συγκεκριμένα βιντεοσκοπείται κάθε φορά η κυκλική κίνηση ενός σώματος και στη συνέχεια με το Tracker η κίνηση αναλύεται “καρέ-καρέ”, ώστε να γίνει η αποτύπωση των σημείων από τα οποία πέρασε το σώμα. Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν αρκετές αναφορές σε καλές πρακτικές που να αξιοποιούν το λογισμικό Tracker και επομένως είναι φτωχά και τα οποιαδήποτε ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα από την εφαρμογή στην τάξη τέτοιων πρακτικών.

Έτσι με βάση τα παραπάνω σχεδιάστηκε, εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε στην πράξη, ένα διδακτικό σενάριο που συνδυάζει τη χρήση του λογισμικού Tracker και το κλασικό πείραμα. Τα νέα δεδομένα που εμπλέκονται στο συγκεκριμένο διδακτικό σενάριο είναι η χρήση του λογισμικού, η σχεδίαση και ο πειραματισμός σε μια πρωτότυπη πειραματική συσκευή καθώς και ο συνδυασμός ΤΠΕ και εργαστηριακής πρακτικής. Από την εφαρμογή και την αξιολόγηση του διδακτικού σεναρίου επιδιώκεται να δοθούν απαντήσεις στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

- Το λογισμικό Tracker:

- α) Ποιο βασικό σκοπό εξυπηρετεί στη μελέτη της ομαλής κυκλικής κίνησης;
- β) Είναι εύκολα αξιοποιήσιμο από τους μαθητές;
- γ) Μπορεί να ενταχθεί στο μοντέλο της ανακαλυπτικής μάθησης;
- δ) Ποιο είδος διδακτικών στόχων (γνωστικών, συναισθηματικών, ψυχοκινητικών) καλύπτει περισσότερο;

- Το κλασικό πείραμα της ομαλής κυκλικής κίνησης του διδακτικού σεναρίου:

- α) Είναι εύκολα πραγματοποιήσιμο από τους μαθητές;
- β) Ποιο είδος διδακτικών στόχων εξυπηρετεί περισσότερο;
- γ) Μπορεί να ενταχθεί στο μοντέλο της ανακαλυπτικής μάθησης;

- Οι ΤΠΕ μπορούν τελικά να συνδυάζονται και να συνεργάζονται αρμονικά με το κλασικό πείραμα;

- Το συγκεκριμένο διδακτικό σενάριο είναι εύκολα εφαρμόσιμο στην πράξη, ώστε να προσφέρει συνολικά στη διδακτική μεθοδολογία;

## **Περιγραφή του διδακτικού σεναρίου που εφαρμόστηκε στην τάξη**

### ***Σχέδιο μαθήματος***

#### Διδακτικοί στόχοι:

Η στοχοθεσία έγινε με βάση την ταξινόμια του Klopfer. Η ταξινόμια αυτή είναι ίσως η πιο πλήρης με την έννοια ότι 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). Έτσι οι μαθητές με τη διδασκαλία αυτού του μαθήματος έπρεπε:

1. Να εξάγουν τις εξισώσεις κίνησης και ταχύτητας στην ομαλή κυκλική κίνηση.
2. Να σχεδιάσουν γραφικές παραστάσεις και να εξάγουν συμπεράσματα από αυτές.
3. Να διαπιστώσουν ότι η ομαλή κυκλική κίνηση είναι μια περιοδική κίνηση και να υπολογίσουν την περίοδο και τη συχνότητα της κίνησης αυτής.
4. Να αναγνωρίσουν το αίτιο που συντηρεί την ομαλή κυκλική κίνηση και να υπολογίσουν τη κεντρομόλο επιτάχυνση και την κεντρομόλο δύναμη.
5. Να πραγματοποιήσουν απλά πειράματα κυκλικής κίνησης εργαζόμενοι σε ομάδες.
6. Να χειριστούν κατάλληλο λογισμικό, εργαζόμενοι σε ομάδες.
7. Να συνδέσουν τη νέα γνώση με φαινόμενα κυκλικής κίνησης που συναντούν στην καθημερινή τους ζωή.

#### Εναλλακτικές ιδέες μαθητών:

Ο όρος εναλλακτικές ιδέες χρησιμοποιείται για όλες τις προϋδεάσεις ή τα νοησιακά μοντέλα των μαθητών, που έχουν τη δυνατότητα να υπονομεύσουν κάθε μελλοντική μάθηση. Έτσι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στο γνωστικό αντικείμενο της κυκλικής κίνησης υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές ιδέες (Κασσέτας, 2004):

1. Η ταχύτητα κατά την ομαλή κυκλική κίνηση, εφόσον ούτε αυξάνεται ούτε ελαττώνεται, διατηρείται σταθερή.
2. Κατά την κυκλική κίνηση ενός σώματος χωρίς αυξομειώσεις ταχύτητας δεν μπορεί να υπάρχει επιτάχυνση.
3. Κατά την κυκλική κίνηση ενός σώματος χωρίς αυξομειώσεις ταχύτητας δεν χρειάζεται να ασκείται στο σώμα κάποια δύναμη.
4. Όταν σε ένα σώμα κινούμενο κυκλικά πάψει να ασκείται η απαιτούμενη (συνισταμένη) δύναμη, το σώμα θα κινηθεί προς το κέντρο κυκλικής τροχιάς.
5. Η κεντρομόλος δύναμη είναι μια ακόμη δύναμη που ασκείται στο κυκλικά κινούμενο σώμα.

#### Διδακτική μεθοδολογία:

Η διδακτική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η καθοδηγούμενη ανακάλυψη (Χαλκιά, 2012; Ζησιμόπουλος κ.α., 2002). Οι μαθητές μέσω ενός φύλλου εργασίας καθοδηγήθηκαν ώστε να χειριστούν κατάλληλη πειραματική διάταξη και κατάλληλο λογισμικό, να λάβουν πειραματικές μετρήσεις, να τις επεξεργαστούν και να εξάγουν τα συμπεράσματά τους. Να σημειωθεί ότι παρόλο που στα πλαίσια της καθοδηγούμενης ανακάλυψης δεν υπήρξε το στάδιο της ανάδειξης των ιδεών και της γνωστικής σύγκρουσης, οι προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών ελήφθησαν υπόψη από τον διδάσκοντα, έτσι ώστε «σιωπηλά» μέσα από τις δραστηριότητες του φύλλου εργασίας και αξιολόγησης να αναδομηθούν όσο ήταν δυνατό οι ιδέες αυτές.

#### Διάρκεια διδασκαλίας:

Για την πραγματοποίηση της διδασκαλίας χρειάστηκαν τέσσερις διδακτικές ώρες. Μία ώρα για την παρουσίαση του θέματος, της υλικοτεχνικής υποδομής και του λογισμικού Tracker, δύο ώρες για την πραγματοποίηση του φύλλου εργασίας και μια ώρα για τη συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης.

#### Προαπαιτούμενες γνώσεις μαθητών:

Για τη συγκεκριμένη διδασκαλία οι μαθητές όφειλαν να γνωρίζουν:

- Βασικές γνώσεις γεωμετρίας του κύκλου.
- Τις έννοιες/μεγέθη, διάστημα, ταχύτητα, επιτάχυνση, δύναμη και τριβή.
- Τις περιοδικές κινήσεις και τα μεγέθη περίοδος και συχνότητα.
- Τη χάραξη και μαθηματική επεξεργασία γραφικών παραστάσεων.

#### Απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή:

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

- Μια συσκευή πραγματοποίησης ομαλής κυκλικής κίνησης. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται ένα πικάπ. Στην επιφάνεια του πικάπ τοποθετείται ένας λευκός δίσκος με σχεδιασμένους ομόκεντρους κύκλους ακτίνων  $R=3\text{cm}$ ,  $6\text{cm}$ ,  $9\text{cm}$ ,  $12\text{cm}$  και  $15\text{cm}$ . Στο δίσκο τοποθετείται ένα παραλληλεπίπεδο σώμα (μια γόμα). Ο δίσκος τίθεται σε περιστροφή και επομένως και το σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση (εικόνα 1).



**Εικόνα 1: Συσκευή πραγματοποίησης ομαλής κυκλικής κίνησης (πικάπ)**

- Μια βιντεοκάμερα για βιντεοσκόπηση της ομαλής κυκλικής κίνησης του σώματος.
- Ένας βιντεοπροβολέας.
- Ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής ανά ομάδα εργασίας.
- Μια φωτοπύλη συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό χρονόμετρο.
- Ένας ορθοστάτης με προσαρμοσμένη μια λαβίδα.

Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε:

Η ανάλυση του βίντεο της ομαλής κυκλικής κίνησης 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 χρήσεις.

Οργάνωση της τάξης και διαχείριση του διδακτικού χρόνου:

Οι μαθητές ήταν χωρισμένοι σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων και δούλευαν ομαδοσυνεργατικά. Η σύνθεση των ομάδων έγινε λαμβάνοντας υπόψη ο διδάσκων τα κοινωνιομετρικά τεστ που συμπλήρωσαν οι μαθητές πριν την έναρξη της διδασκαλίας (Ματσαγγούρας, 2000) καθώς και την ανομοιογένεια που πρέπει να διακρίνει κάθε ομάδα, τόσο ως προς τις δεξιότητες των μελών της, όσο και ως προς τις πολιτισμικές τους καταβολές (Ματσαγγούρας, 2005).

Στην πρώτη διδακτική ώρα ο διδάσκων παρουσίασε στους μαθητές το θέμα με το οποίο θα ασχολούνταν (στάδιο αφόρμησης), την πειραματική διάταξη την οποία θα χρησιμοποιούσαν καθώς και το λογισμικό με το οποίο θα ανέλυαν την υπό μελέτη κίνηση. Στη δεύτερη και τρίτη ώρα οι μαθητές προχώρησαν στη βιντεοσκόπηση της κίνησης και στη μελέτη της μέσα από τις δραστηριότητες του φύλλου εργασίας. Στην τέταρτη ώρα οι μαθητές συμπλήρωσαν ένα φύλλο αξιολόγησης αφενός για να αξιολογηθεί η επίτευξη των διδακτικών στόχων και αφετέρου για να ανατροφοδοτηθεί ή όλη διδακτική πρακτική (Κασσωτάκης, 1981; Gronlund, 1985). Να σημειωθεί ότι επειδή υπήρχε μόνο μια πειραματική διάταξη, έγινε μια βιντεοσκόπηση της κίνησης και στη συνέχεια κάθε ομάδα επεξεργάστηκε το ίδιο βίντεο. Όμοια για το φύλλο αξιολόγησης, κάθε ομάδα πέρασε κυκλικά από την πειραματική διάταξη και έλαβε τις μετρήσεις της.

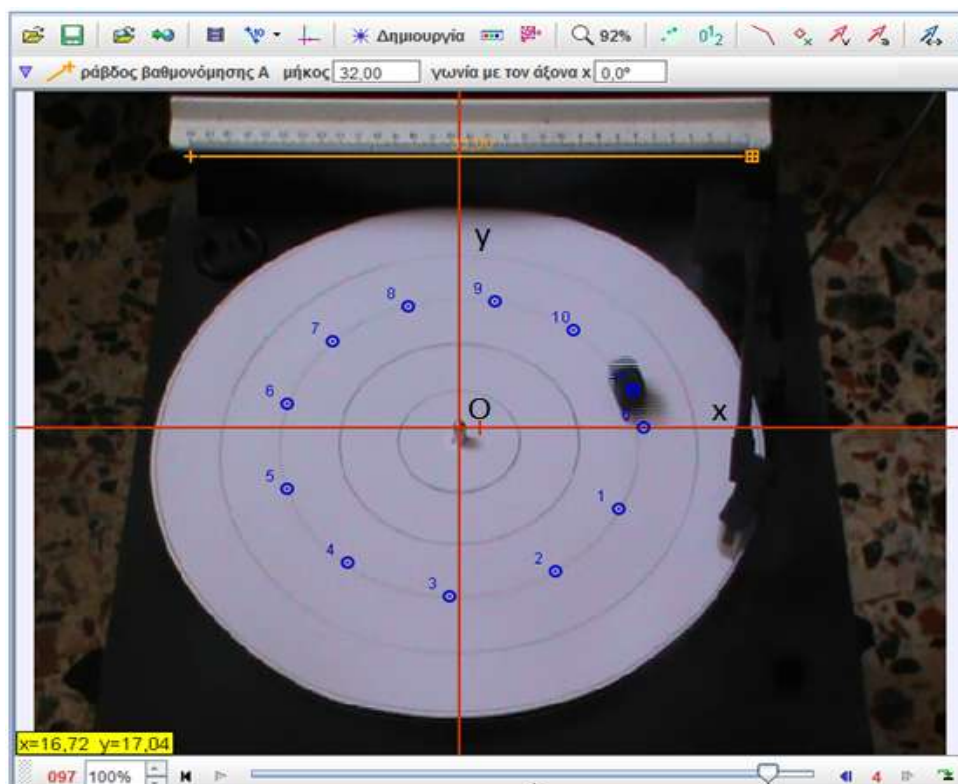
**Φύλλο εργασίας**

Στάδιο αφόρμησης:

Η διδασκαλία ξεκίνησε ζητώντας ο διδάσκων από τους μαθητές να αναφέρουν παραδείγματα κυκλικών κινήσεων από την καθημερινή τους ζωή και από τις γενικότερες γνώσεις τους. Οι περισσότεροι μαθητές έδωσαν σωστά παραδείγματα, από τα οποία τα περισσότερα σχετίζονταν με την κίνηση οχημάτων σε στροφές και γύρω από κυκλικές πλατείες. Λίγοι μαθητές ανέφεραν την κίνηση της Σελήνης γύρω από τη Γη, την κίνηση τη Γης γύρω από τον Ήλιο, την κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα του ατόμου, ενώ ένας μαθητής –μάλλον προφητικά- ανέφερε την κίνηση του δίσκου σε ένα πικάπ. Επίσης ο διδάσκων προβληματίσε τους μαθητές σε σχέση με το ποιο μπορεί να είναι το αίτιο που συντηρεί μια κυκλική κίνηση. Το 37% των μαθητών απάντησε ότι η κίνηση συντηρείται από μόνη της ενώ το 47% θεώρησε ότι υπάρχει μια επιπλέον δύναμη με ακτινική διεύθυνση υπεύθυνη για την κυκλική κίνηση. Το υπόλοιπο 16% περιόρισε την αιτία στη δύναμη της τριβής χωρίς όμως να καθορίσει τη διεύθυνσή της. Αφού ακούστηκαν όλες οι απόψεις, ο διδάσκων χωρίς να δώσει απαντήσεις κάλεσε τους μαθητές να μελετήσουν την κυκλική κίνηση μέσα από μια σειρά δραστηριοτήτων.

### Δραστηριότητες:

1. Οι μαθητές τοποθέτησαν μια γόμα μάζας  $m=2g$  και σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου στον λευκό δίσκο σε απόσταση  $R=9cm$  από το κέντρο του και τον έθεσαν σε περιστροφή με τον ειδικό μηχανισμό (πικάπ). Έτσι τέθηκε σε κυκλική κίνηση κέντρου  $O$  και ακτίνας  $R=9cm$  και το υπό μελέτη σώμα μάζας  $m$ . Στη συνέχεια βιντεοσκοπήθηκε η κυκλική κίνηση του σώματος και η κάθε ομάδα μετέφερε το βίντεο στον υπολογιστή της προκειμένου να το αναλύσει με το λογισμικό Tracker. Η κίνηση ιχνηλατήθηκε με ανάλυση του βίντεο “καρέ-καρέ”. Στην εικόνα 2 φαίνονται τα “αποτυπώματα” της κίνησης (μπλε κουκίδες) σε κατάλληλο σύστημα αναφοράς  $Oxy$ .

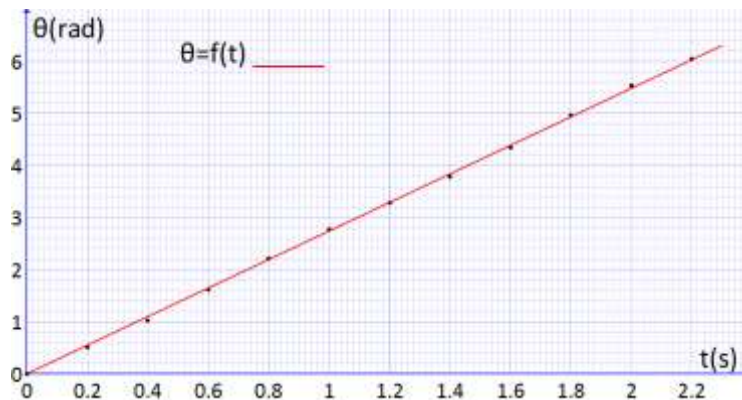


**Εικόνα 2: Τα αποτυπώματα της κυκλικής κίνησης του σώματος στο περιβάλλον του λογισμικού Tracker**

2. Το Tracker προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής της γωνίας  $\theta$  που διαγράφει η επιβατική ακτίνα του σώματος. Έτσι οι μαθητές έλαβαν ζεύγη τιμών (χρόνου  $t$ , γωνίας  $\theta$ ) τα οποία καταχώρησαν στον πίνακα 1 και σχεδίασαν τη γραφική παράσταση  $\theta$ - $t$  (διάγραμμα 1).

**Πίνακας 1. Πίνακας τιμών ( $t, \theta$ )**

$t(s)$	$\theta(rad)$
0	0
0,2	0,51
0,4	1,02
0,6	1,62
0,8	2,21
1,0	2,77
1,2	3,29
1,4	3,79
1,6	4,35
1,8	4,96
2	5,53
2,2	6,05



**Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση  $\theta$ - $t$**

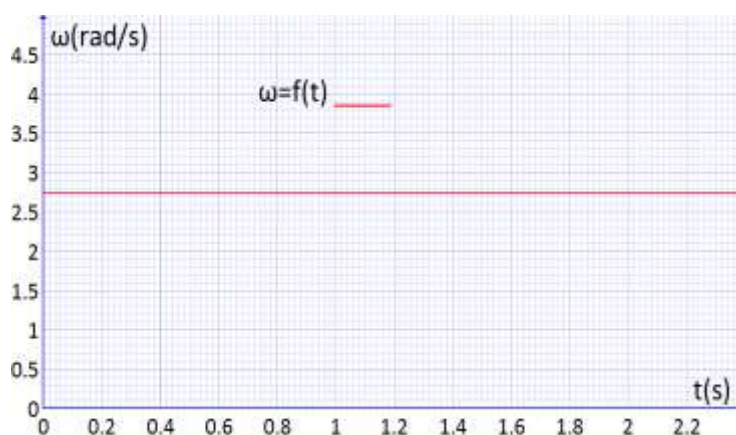
Στη συνέχεια οι μαθητές υπολόγισαν την κλίση της ευθείας στο διάγραμμα  $\theta$ - $t$  και διατύπωσαν τη φυσική σημασία της κλίσης. Συγκεκριμένα η κλίση είναι  $\Delta\theta/\Delta t=2,74rad/s$  και εκφράζει το ρυθμό μεταβολής της γωνίας  $\theta$ .

Με τις δραστηριότητες αυτές ο διδάσκων κατάφερε να καθοδηγήσει τους μαθητές να διαπιστώσουν ότι υπάρχει ανάγκη να εισαχθεί ένα φυσικό μέγεθος που θα εκφράζει το πόσο γρήγορα (ή αργά) μεταβάλλεται η γωνία που διαγράφει η επιβατική ακτίνα που παρακολουθεί την κίνηση του σώματος. Αφού πλέον είχε ωριμάσει στο μυαλό των μαθητών η ιδέα για ένα καινούργιο φυσικό μέγεθος, παρενέβη ο διδάσκων και όρισε το

διανυσματικό φυσικό μέγεθος γωνιακή ταχύτητα  $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  (1) και ονομάτισε τη συγκεκριμένη κίνηση ως ομαλή κυκλική (Βλάχος κ.α., 2014).

3. Στη δραστηριότητα αυτή ζητήθηκε από τους μαθητές να γράψουν την εξίσωση της γραφικής παράστασης του διαγράμματος  $\theta-t$ ,  $\theta=2,74t$  ( $\theta$  σε rad και  $t$  σε s) και στη συνέχεια να διατυπώσουν τη γενική εξίσωση  $\theta=f(t)$  που περιγράφει τέτοιου είδους κινήσεις,  $\theta=\omega t$  (2). Η εξίσωση (2) αποτελεί την εξίσωση κίνησης για τη γωνιακή θέση στην ομαλή κυκλική κίνηση (Δαπόντες κ.α., 1996).

4. Σ' αυτή τη δραστηριότητα αυτή οι μαθητές σχεδίασαν τη γραφική παράσταση  $\omega-t$  (διάγραμμα 2) και διατύπωσαν την εξίσωση της γραφικής παράστασης  $\omega=2,74=\text{σταθ}$ . ( $\omega$  σε rad/s).



Διάγραμμα 2: Γραφική παράσταση  $\omega-t$

Η δραστηριότητα ολοκληρώθηκε με τη διατύπωση της γενικής εξίσωσης της γωνιακής ταχύτητας στην ομαλή κυκλική κίνηση  $\bar{\omega} = \text{σταθερή}$  (3) (Δαπόντες κ.α., 1996).

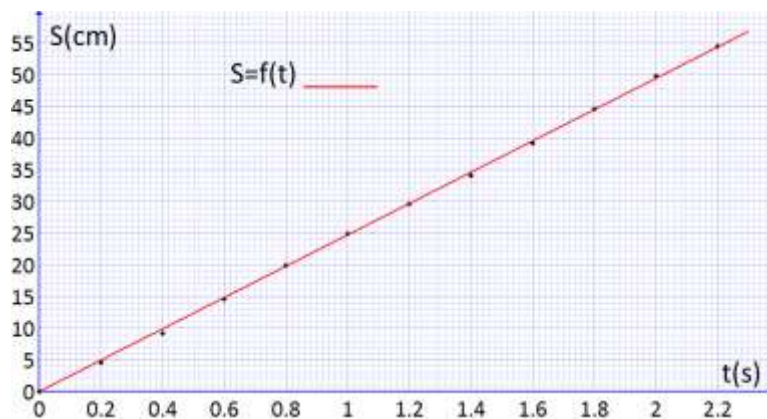
5. Με βάση το διάγραμμα  $\theta-t$  οι μαθητές υπολόγισαν τη μεταβολή της γωνίας  $\Delta\theta=0,54\text{rad}$  που διαγράφει η επιβατική ακτίνα του σώματος από τη χρονική στιγμή  $t_1=0,7\text{s}$  έως τη χρονική στιγμή  $t_2=0,9\text{s}$ . Στη συνέχεια με βάση το διάγραμμα  $\omega-t$  υπολόγισαν το εμβαδό που περικλείεται μεταξύ του άξονα του χρόνου από  $t_1=0,7\text{s}$  έως  $t_2=0,9\text{s}$  και της ευθείας που παριστάνει την γωνιακή ταχύτητα,  $E=0,22,74=0,548\text{rad}$ . Από τη σύγκριση των δυο τιμών οι μαθητές διαπίστωσαν ότι στο διάγραμμα  $\omega-t$  το εμβαδό που περικλείεται μεταξύ του άξονα του χρόνου και της ευθείας που παριστάνει την γωνιακή ταχύτητα, ισούται με τη μεταβολή της γωνίας  $\Delta\theta$  που διαγράφει η επιβατική ακτίνα του σώματος.

6. Όταν η επιβατική ακτίνα του σώματος διαγράφει γωνία  $\theta$ , τότε το σώμα διανύει τόξο μήκους  $S$  που δίνεται από τη σχέση  $S=R\theta$ (4) όπου  $R=9\text{cm}$  είναι η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς. Με βάση τη σχέση (4) και τα ζεύγη τιμών  $(t,\theta)$  του πίνακα 1, οι μαθητές υπολόγισαν και κατέγραψαν στον πίνακα 2 ζεύγη τιμών  $(t,S)$  και σχεδίασαν τη γραφική παράσταση  $S-t$  (διάγραμμα 3).

Πίνακας 2. Πίνακας τιμών  $(t,S)$

$t(\text{s})$	$\theta(\text{rad})$	$S(\text{cm})$
0	0	0
0,2	0,51	4,6

0,4	1,02	9,2
0,6	1,62	14,6
0,8	2,21	19,9
1,0	2,77	24,9
1,2	3,29	29,6
1,4	3,79	34,1
1,6	4,35	39,2
1,8	4,96	44,6
2	5,53	49,8
2,2	6,05	54,5



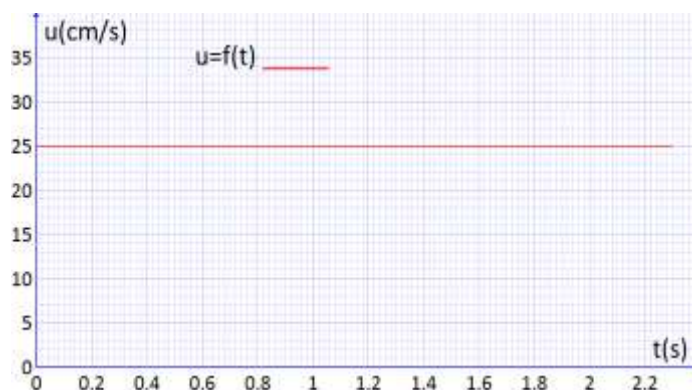
**Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση S-t**

Στη συνέχεια οι μαθητές υπολόγισαν την κλίση της ευθείας στο διάγραμμα S-t και διατύπωσαν τη φυσική σημασία της κλίσης. Συγκεκριμένα η κλίση είναι  $\Delta S/\Delta t=24,9\text{cm/s}$  και εκφράζει το ρυθμό μεταβολής του τόξου S που διανύει το σώμα. Όμοια με τη 2<sup>η</sup> δραστηριότητα, στο σημείο αυτό παρενέβη ο διδάσκων και όρισε το διανυσματικό φυσικό μέγεθος γραμμική ταχύτητα  $u = \frac{\Delta S}{\Delta t}$  στην ομαλή κυκλική κίνηση (Βλάχος κ.α., 2014):

**7.** Στη δραστηριότητα αυτή ζητήθηκε από τους μαθητές να γράψουν την εξίσωση της γραφικής παράστασης του διαγράμματος S-t,  $S=24,9t$  (S σε cm και t σε s) και στη συνέχεια να διατυπώσουν τη γενική εξίσωση  $S=f(t)$  που περιγράφει τέτοιου είδους κινήσεις,  $S=u \cdot t$  (6). Η εξίσωση (6) αποτελεί την εξίσωση κίνησης στην ομαλή κυκλική κίνηση (Δαπόντες κ.α., 1996).

**8.** Οι μαθητές σχεδίασαν τη γραφική παράσταση u-t (διάγραμμα 4) και διατύπωσαν την εξίσωση της γραφικής παράστασης  $u=24,9=\text{σταθ.}$  (u σε cm/s).





Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση u-t

Η δραστηριότητα ολοκληρώθηκε με τη διατύπωση της γενικής εξίσωσης της γραμμικής ταχύτητας στην ομαλή κυκλική κίνηση  $u = \text{σταθερή}$  (7) ως προς το μέτρο (Δαπόντες κ.α., 1996).

9. Με βάση το διάγραμμα S-t οι μαθητές υπολόγισαν το τόξο  $\Delta S = 4,97\text{cm}$  που διανύει το σώμα από τη χρονική στιγμή  $t_1 = 0,7\text{s}$  έως τη χρονική στιγμή  $t_2 = 0,9\text{s}$ . Στη συνέχεια με βάση το διάγραμμα u-t υπολόγισαν το εμβαδό που περικλείεται μεταξύ του άξονα του χρόνου από  $t_1 = 0,7\text{s}$  έως  $t_2 = 0,9\text{s}$  και της ευθείας που παριστάνει την ταχύτητα,  $E = 0,2 \cdot 24,9 = 4,98\text{cm}$ . Από τη σύγκριση των δυο τιμών οι μαθητές διαπίστωσαν ότι στο διάγραμμα u-t το εμβαδό που περικλείεται μεταξύ του άξονα του χρόνου και της ευθείας που παριστάνει την γραμμική ταχύτητα, ισούται με το τόξο  $\Delta S$  που διανύει το σώμα.

10. Η “καρέ-καρέ” ανάλυση της κίνησης του σώματος έδωσε τη δυνατότητα στους μαθητές να παρατηρήσουν ότι κάθε πλήρης περιστροφή του σώματος επαναλαμβανόταν στο ίδιο πάντα χρονικό διάστημα και επομένως να διαπιστώσουν ότι η ομαλή κυκλική κίνηση είναι περιοδική. Έτσι δεδομένου ότι ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών καρέ ήταν  $\Delta t = 0,05\text{s}$  και ότι μια πλήρης περιστροφή ολοκληρωνόταν σε 46 καρέ, οι μαθητές υπολόγισαν τη περίοδο και τη συχνότητα της ομαλής κυκλικής κίνησης,  $T = 46 \cdot \Delta t = 46 \cdot 0,05 = 2,3\text{s}$  και  $f = 1/T = 0,43\text{Hz}$ .

11. Στην τελευταία δραστηριότητα του φύλλου εργασίας οι μαθητές προβληματίστηκαν και καθοδηγήθηκαν κατάλληλα στο να συσχετίσουν την αλλαγή της κατεύθυνσης της γραμμικής ταχύτητας με την εμφάνιση μιας ακτινικής επιτάχυνσης και επομένως και μιας ακτινικής συνισταμένης δύναμης. Έτσι ο διδάσκων όρισε την κεντρομόλο επιτάχυνση  $\vec{a}_κ$  και την κεντρομόλο δύναμη  $\vec{F}_κ$  (Βλάχος κ.α., 2014). Τέλος οι μαθητές για το σώμα μάζας  $m = 2\text{g}$  που εκτελούσε ομαλή κυκλική κίνηση κέντρου O και ακτίνας  $R = 9\text{cm}$ , υπολόγισαν τις

τιμές των δυο αυτών μεγεθών,  $a_κ = \frac{u^2}{R} = 0,689 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  και  $F_κ = m \cdot \frac{u^2}{R} = 0,0014\text{N}$ .

Κατά τη διεξαγωγή του φύλλου εργασίας, ο διδάσκων παρατήρησε ότι όλες οι ομάδες μπόρεσαν να αναλύσουν το βίντεο της κίνησης με το λογισμικό Tracker, παρά τις όποιες μικρές τεχνικές δυσκολίες οι οποίες ξεπεράστηκαν γρήγορα με τη σωστή καθοδήγηση. Επίσης το 74% των μαθητών σχεδίασε σωστά τις όποιες γραφικές παραστάσεις και εξήγαγε από αυτές σωστά συμπεράσματα. Το υπόλοιπο 26% των μαθητών αντιμετώπισε προβλήματα στη σχεδίαση των γραφικών παραστάσεων, κυρίως διότι δεν χρησιμοποίησε σωστά την τεχνική της γραφικής παράστασης. Τέλος μέσα από κατάλληλη συζήτηση το 68% των μαθητών μπόρεσε να συσχετίσει την αλλαγή της κατεύθυνσης της γραμμικής ταχύτητας με την ύπαρξη μιας ακτινικής επιτάχυνσης και δύναμης. Με την καθοδήγηση όμως του

καθηγητή, αλλά και τη συνεργασία μεταξύ των μελών κάθε ομάδας, τελικά όλοι οι μαθητές πραγματοποίησαν τις δραστηριότητες του φύλλου εργασίας.

## Η μεθοδολογία της έρευνας

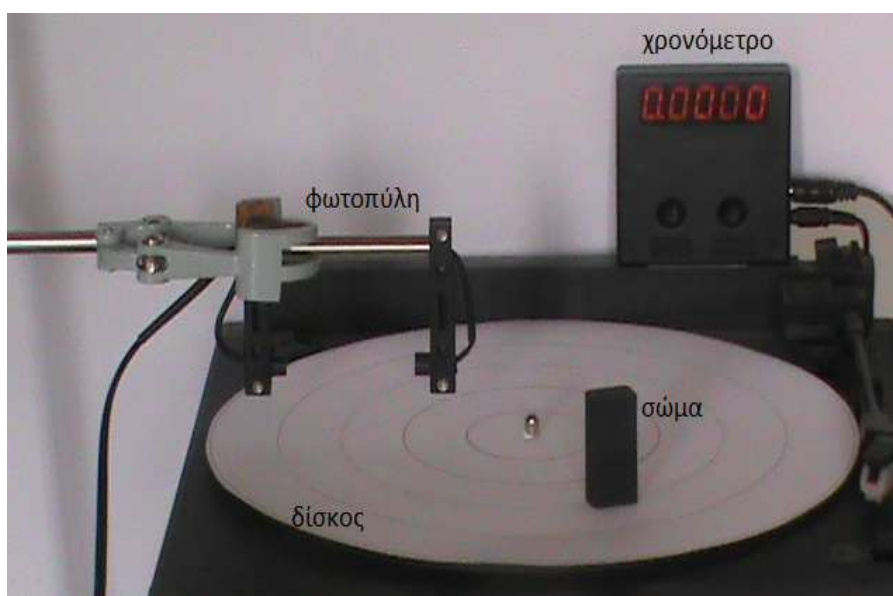
Προκειμένου να αξιολογηθεί η δομή του διδακτικού σεναρίου, η επίτευξη των διδακτικών στόχων (γνωστικών, συναισθηματικών και ψυχοκινητικών) και τα διδακτικά εργαλεία (λογισμικό και πειραματική συσκευή) (Κασσωτάκης, 1981; Gronlund, 1985), ο διδάσκων συνεκτίμησε και ανέλυσε τα εξής:

- Τις παρατηρήσεις του από την εφαρμογή του φύλλου εργασίας όπως καταγράφηκαν παραπάνω.
- Τις απαντήσεις των μαθητών στο φύλλο αξιολόγησης, που συμπληρώθηκε μετά την ολοκλήρωση του φύλλου εργασίας.
- Τις απαντήσεις των μαθητών σε ένα ερωτηματολόγιο, μέσω του οποίου οι μαθητές αξιολόγησαν από τη μεριά τους την όλη διδακτική προσέγγιση.

Να σημειωθεί ότι τόσο το φύλλο αξιολόγησης όσο και το ερωτηματολόγιο ήταν ανοιχτού τύπου και συμπληρώθηκε από τον κάθε μαθητή ξεχωριστά. Ως ομάδα οι μαθητές λειτούργησαν μόνο στη λήψη των πειραματικών μετρήσεων που ήταν απαραίτητες για τη συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης.

### *Περιγραφή του φύλλου αξιολόγησης που συμπλήρωσαν οι μαθητές*

Για τη συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης κάθε ομάδα μαθητών πραγματοποίησε πείραμα και έλαβε μετρήσεις, με τη βοήθεια της πειραματικής διάταξης που αναφέρεται και στο φύλλο εργασίας. Συγκεκριμένα οι μαθητές τοποθέτησαν στο δίσκο ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο σώμα (γόμα) και έθεσαν το δίσκο σε περιστροφή. Στη διάταξη ήταν προσαρμοσμένη μια φωτοπύλη η οποία συνδεόταν με ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο. Καθώς το σώμα κινείτο διερχόταν μέσα από τη φωτοπύλη. Το χρονόμετρο μετρούσε το χρόνο διέλευσης  $\Delta t$  του σώματος διάστασης  $d=2\text{cm}$  μέσα από τη φωτοπύλη (εικόνα 3).



Εικόνα 3: Πειραματική διάταξη ομαλής κυκλικής κίνησης

Ερωτήσεις και δραστηριότητες:

**1.** Με βάση την περιγραφή της πειραματικής διάταξης ζητήθηκε από τους μαθητές να χαρακτηρίσουν την κίνηση του σώματος και ρωτήθηκαν για το φυσικό μέγεθος που εκφράζει το πηλίκο  $d/\Delta t$ . Σχεδόν το σύνολο των μαθητών χαρακτήρισε σωστά την κίνηση του σώματος ως ομαλή κυκλική ενώ το 74% απάντησε σωστά ότι πηλίκο  $d/\Delta t$  εκφράζει το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας. Το 16% απάντησε μεν ότι το πηλίκο εκφράζει την ταχύτητα αλλά χωρίς να διακρίνει αν πρόκειται για τη γραμμική ή τη γωνιακή ταχύτητα. Το 10% απάντησε με λανθασμένα μεγέθη.

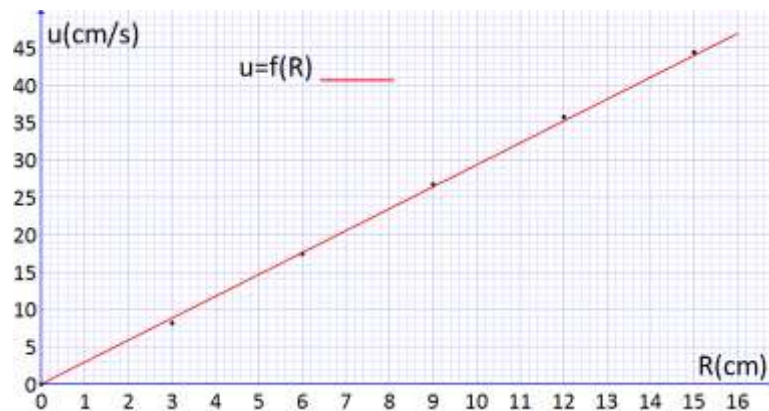
**2.** Για την κίνηση του σώματος σε κυκλική τροχιά κέντρου  $O$  και ακτίνας  $R$  ζητήθηκε από τους μαθητές να δείξουν ότι μεταξύ της γραμμικής ταχύτητας  $u$  και της γωνιακής ταχύτητας  $\omega$  ισχύει η σχέση  $u=\omega \cdot R$  (9). Το 74% των μαθητών συνδύασε σωστά τις σχέσεις  $u=2\pi R/T$  και  $\omega=2\pi/T$  και έδειξε τη σχέση (9), ενώ το υπόλοιπο 26% παρόλο που χειρίστηκε κάποιες μαθηματικές σχέσεις δεν έφθασε στο σωστό αποτέλεσμα.

**3.** Στη δραστηριότητα αυτή οι μαθητές κάθε ομάδας τοποθέτησαν το σώμα σε απόσταση  $R=3\text{cm}$  από το κέντρο του δίσκου και τον έθεσαν σε περιστροφή. Καθώς το σώμα κινείται διέρχεται από τη φωτοπύλη και το χρονόμετρο μετρούσε το χρονικό διάστημα  $\Delta t$  που χρειαζόταν για να περάσει το σώμα διάστασης  $d=2\text{cm}$  από αυτή. Για μεγαλύτερη ακρίβεια έπαιρναν τρεις μετρήσεις και υπολόγιζαν τη μέση τιμή του χρονικού διαστήματος  $\Delta t_{\mu}$ . Από τη σχέση  $u=d/\Delta t_{\mu}$  υπολόγιζαν τη γραμμική ταχύτητα του σώματος. Στη συνέχεια οι μαθητές τοποθέτησαν διαδοχικά το σώμα σε απόσταση  $R=6\text{cm}$ ,  $9\text{cm}$ ,  $12\text{cm}$  και  $15\text{cm}$  από το κέντρο του δίσκου και επανέλαβαν την παραπάνω δραστηριότητα. Έτσι έλαβαν ζεύγη πειραματικών τιμών  $(R,u)$  που τα καταχώρησαν στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Πίνακας τιμών  $(R,u)$ 

R(cm)	$\Delta t$ (s)	$\Delta t_{\mu}$ (s)	u(cm/s)
0	-	-	0
	0,245		
3	0,244	0,244	8,2
	0,244		
	0,115		
6	0,115	0,115	17,4
	0,115		
	0,076		
9	0,075	0,075	26,7
	0,075		
	0,055		
12	0,056	0,056	35,7
	0,056		
	0,045		
15	0,045	0,045	44,4
	0,046		

4. Με βάση τις τιμές του πίνακα 3, οι μαθητές προχώρησαν στη σχεδίαση της γραφικής παράστασης  $u-R$  (διάγραμμα 5). Το 84% των μαθητών σχεδίασε σωστά και προσεκτικά τη γραφική παράσταση φέρνοντας τη «βέλτιστη» ευθεία». Οι υπόλοιποι μαθητές είτε δεν σχεδίασαν καθόλου τη γραφική παράσταση είτε τη σχεδίασαν λανθασμένα.



Διάγραμμα 5: Γραφική παράσταση  $u-R$

5. Στη δραστηριότητα αυτή ζητήθηκε από τους μαθητές να υπολογίσουν τη γωνιακή ταχύτητα του σώματος. Το 74% των μαθητών υπολόγισε σωστά την κλίση της ευθείας στο διάγραμμα  $u-R$  και επομένως υπολόγισε σωστά τη γωνιακή ταχύτητα. Συγκεκριμένα  $\omega = \Delta u / \Delta R = 2,93 \text{ rad/s}$ .

6. Το 74% των μαθητών υπολόγισε επίσης σωστά την περίοδο και τη συχνότητα της ομαλής κυκλικής κίνησης του σώματος. Συγκεκριμένα  $T = 2\pi / \omega = 2,14 \text{ s}$  και  $f = 1/T = 0,47 \text{ Hz}$ . Το 21% αν και χρησιμοποίησε τις σωστές σχέσεις δε έφθασε σε τελικό αποτέλεσμα. Το 5% τέλος διατύπωσε κάποιους λανθασμένους τύπους χωρίς καμία συνοχή.

7. Στην προτελευταία δραστηριότητα -η οποία ίσως ήταν και η πιο απαιτητική- ζητήθηκε από τους μαθητές να υπολογίσουν την ελάχιστη τιμή  $\mu_{s,\min}$  του συντελεστή στατικής τριβής που πρέπει να παρουσιάζει η επιφάνεια του σώματος με το δίσκο, ώστε το σώμα κινούμενο σε κυκλική τροχιά κέντρου  $O$  και ακτίνας  $R = 13 \text{ cm}$  να μην εκτρέπεται από αυτή.

Από το διάγραμμα  $u-R$  (διάγραμμα 5) προκύπτει ότι για  $R = 13 \text{ cm}$  είναι  $u = 38,2 \text{ cm/s}$ . Η στατική τριβή που ασκείται στο σώμα μάζας  $m$  παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης,

άρα  $T_{\sigma} = m \cdot \frac{u^2}{R}$ . Για να κινείται το σώμα με ασφάλεια στην κυκλική τροχιά θα πρέπει η

στατική τριβή  $T_{\sigma}$  να είναι μικρότερη ή ίση με την οριακή τριβή  $T_{op}$ , άρα:

$$T_{\sigma} \leq T_{op} \Rightarrow m \cdot \frac{u^2}{R} \leq \mu_s \cdot N \Rightarrow m \cdot \frac{u^2}{R} \leq \mu_s \cdot m \cdot g \Rightarrow \mu_s \geq \frac{u^2}{R \cdot g}$$

$$\text{άρα: } \mu_{s,\min} = \frac{u^2}{R \cdot g} = 0,11.$$

Το 48% των μαθητών απάντησε σωστά στην ερώτηση ενώ το 26% αν και βρήκε την ταχύτητα από τη γραφική παράσταση και διαπίστωσε ότι η στατική τριβή παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης, δεν κατάφερε να φθάσει μέχρι τον υπολογισμό του  $\mu_{s,\min}$ . Τέλος το 26% των μαθητών είτε δεν απάντησε καθόλου είτε αναλώθηκε σε κάποιους λανθασμένους συσχετισμούς μαθηματικών σχέσεων.

**8.** Στην τελευταία δραστηριότητα ζητήθηκε από τους μαθητές να συσχετίσουν το πείραμα και τους υπολογισμούς του φύλλου αξιολόγησης με κινήσεις που συναντούν στην καθημερινή τους ζωή. Το εύρημα ήταν αρκετά ενθαρρυντικό, αφού σχεδόν το σύνολο των μαθητών συσχέτισε το πείραμα με την κίνηση που κάνει ένα όχημα γύρω από μια πλατεία καθώς και με τη συνθήκη που θα πρέπει να ικανοποιείται για την ασφαλή κίνηση του οχήματος σε μια στροφή.

Με τις ερωτήσεις και τις δραστηριότητες του φύλλου αξιολόγησης, πέρα από τις στάσεις και τις δεξιότητες των μαθητών, αξιολογήθηκε και το κατά πόσο ήταν σε θέση να συνδυάσουν τις θεωρητικές τους γνώσεις με την εργαστηριακή πρακτική προκειμένου να μελετήσουν μια κυκλική κίνηση που συναντούν συχνά στην καθημερινή τους ζωή. Μάλιστα αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο οι δραστηριότητες του φύλλου εργασίας όσο και του φύλλου αξιολόγησης ήταν έτσι δομημένες, ώστε οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι η εργαστηριακή πρακτική όχι μόνο δεν είναι αποκομμένη από τις ασκήσεις και τα προβλήματα που έχουν συνηθίσει να λύνουν αλλά διευρύνει και προάγει συνολικά τις δεξιότητες των μαθητών.

### **Περιγραφή του ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν οι μαθητές**

Στην πρώτη ερώτηση, οι μαθητές σχολιάζοντας τις δραστηριότητες του φύλλου εργασίας απάντησαν σε ποσοστό 84% ότι ήταν σαφείς και κλιμακούμενης δυσκολίας. Επίσης το ίδιο ποσοστό θεώρησε ότι η παρεχόμενη καθοδήγηση από τον καθηγητή ήταν σε βαθμό που τους βοήθησε να ανακαλύψουν τη νέα γνώση.

Στη δεύτερη ερώτηση και όσον αφορά στο φύλλο αξιολόγησης, το 79% των μαθητών έκρινε σαφείς και κλιμακούμενης δυσκολίας τις ερωτήσεις που περιείχε και ότι ήταν σε συμφωνία με το «πνεύμα» των ερωτήσεων του φύλλου εργασίας. Έτσι θεώρησε ότι το φύλλο εργασίας τους βοήθησε στο να απαντήσουν στις ερωτήσεις αξιολόγησης. Επίσης το 84% απάντησε ότι το θέμα που διαπραγματευόταν το φύλλο αξιολόγησης είχε άμεση σχέση με κινήσεις που οι μαθητές συναντούν στην καθημερινή τους ζωή.

Στην τρίτη ερώτηση οι μαθητές σχολίασαν το χειρισμό του λογισμικού Tracker. Το 79% απάντησε ότι πρόκειται για ένα μεσαίας δυσκολίας πρόγραμμα, που με λίγη εξάσκηση προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα να μελετήσει σχετικά εύκολα ,πολλά είδη κινήσεων. Μάλιστα λίγοι μαθητές -και χωρίς να τους ζητηθεί- πρότειναν κινήσεις που θα μπορούσαν να μελετηθούν με το συγκεκριμένο λογισμικό, όπως η ευθύγραμμη κίνηση και η ελεύθερη πτώση.

Στην τέταρτη ερώτηση οι μαθητές ρωτήθηκαν για την εμπειρία τους εργαζόμενοι σε ομάδες. Το 84% των μαθητών την έκρινε ως μοναδική εμπειρία, διότι αναδείχθηκαν συναισθήματα και καταστάσεις, όπως ο αλληλοσεβασμός, η αλληλοβοήθεια, η συνεργασία, η κατανομή ρόλων, η «ώσμωση» ιδεών και δεξιοτήτων και κυρίως η αποδοχή του διαφορετικού. Ενδιαφέρον πάντως αποτελεί ότι ένα 16% των μαθητών θεώρησε ότι οι «καλοί» μαθητές μένουν «πίσω» γνωστικά και δεν φαίνονται οι πραγματικές τους δυνατότητες μέσα από την εργασία σε ομάδες. Επίσης το 5% απάντησε ότι οι καλοί φίλοι στην παρέα δεν είναι κατ' ανάγκη και καλοί συνεργάτες στην ομάδα!

Στην πέμπτη ερώτηση οι μαθητές ρωτήθηκαν σε σχέση με το ποιοι θα μπορούσαν να ήταν οι στόχοι της διδασκαλίας. Έτσι το 48% των μαθητών διατύπωσε μόνο γνωστικούς στόχους, ενώ το 42% διατύπωσε και γνωστικούς και συναισθηματικούς και ψυχοκινητικούς. Ένα μικρό ποσοστό μαθητών δεν απάντησε καθόλου. Το εύρημα αυτό θεωρείται αρκετά σημαντικό αφού φαίνεται ότι ένας ικανός αριθμός μαθητών δεν συνδέει τη διδασκαλία

μόνο με την απόκτηση της γνώσης αλλά τη συσχετίζει και με την απόκτηση δεξιοτήτων και στάσεων.

Στην έκτη και τελευταία ερώτηση ζητήθηκε από τους μαθητές η γνώμη τους για το αν επιθυμούν τέτοιου είδους διδακτικές πρακτικές. Το 79% των μαθητών φάνηκε να επιθυμεί τέτοιου είδους προσεγγίσεις, ενώ το 21% εξέφρασε την ανησυχία του ότι τέτοιου είδους διδασκαλίες αφαιρούν πολύτιμο χρόνο από την επίλυση ασκήσεων. Να σημειωθεί ότι αυτό το μικρό ποσοστό αφορούσε σε μαθητές που ήταν επιμελείς με πολύ καλή επίδοση κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους!

## Συμπεράσματα - συζήτηση

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία της έρευνας, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι η καθοριστική συμβολή του λογισμικού Tracker έγκειται στην ιχνηλάτηση της κυκλικής κίνησης, προσφέροντας ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία. Έτσι το λογισμικό μπορεί να ενταχθεί ως διδακτικό εργαλείο σε ένα μοντέλο ανακαλυπτικής μάθησης, μιας και η συλλογή και η επεξεργασία πειραματικών δεδομένων αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου αυτού (Χαλκιά, 2012; Ζησιμόπουλος κ.α., 2002). Επίσης φάνηκε ότι οι μαθητές εξοικειώθηκαν σχετικά σύντομα με τις βασικές λειτουργίες του λογισμικού. Δεδομένου όμως ότι η χρήση του λογισμικού σχετίζεται κυρίως με την αποτύπωση της κίνησης και τη λήψη πειραματικών δεδομένων, το Tracker καλύπτει κυρίως γνωστικούς στόχους.

Όσον αφορά στην πειραματική διάταξη, οι μαθητές έδειξαν να τη χρησιμοποιούν εύκολα και στο φύλλο εργασίας και στο φύλλο αξιολόγησης. Μάλιστα η ομαλότητα στην κυκλική κίνηση που εξασφαλίζεται από τη συγκεκριμένη συσκευή, μειώνει αρκετά τα πειραματικά σφάλματα. Έτσι η πειραματική διάταξη προσφέρει με ασφάλεια πειραματικά δεδομένα που με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να οδηγήσουν τους μαθητές στην ανακάλυψη των νόμων που διέπουν την ομαλή κυκλική κίνηση. Επομένως η πειραματική διάταξη με το αντίστοιχο πείραμα μπορούν να ενταχθούν σε μια ανακαλυπτικού τύπου διδακτική πρακτική ενώ η διάδραση μεταξύ των μαθητών και της διάταξης καλύπτει και τους γνωστικούς και τους ψυχοκινητικούς στόχους.

Όπως προαναφέρθηκε, για την πειραματική μελέτη μια κίνησης, εξυπηρετεί αρκετά η καταγραφή του ιστορικού της (Κασσέτας, 2000). Συνήθως η καταγραφή γίνεται με τη χρήση στροβοσκοπίου (Αρναουτάκης κ.α., 2005). Το λογισμικό Tracker θα μπορούσαμε να πούμε ότι παίζει πλέον το ρόλο ενός σύγχρονου ψηφιακού στροβοσκοπίου, γεφυρώνοντας έτσι τις νέες τεχνολογίες με το κλασικό πείραμα. Μέσα από την εφαρμογή του παραπάνω διδακτικού σεναρίου αναδεικνύεται ότι εφόσον οι ΤΠΕ χρησιμοποιηθούν την κατάλληλη στιγμή και στην κατάλληλη «δόση» σε συνδυασμό με το κλασικό πείραμα, μπορούν να χαράξουν νέες διδακτικές πρακτικές με υπολογίσιμα μαθησιακά αποτελέσματα.

Τέλος το διδακτικό σενάριο στο σύνολό του κρίνεται επιτυχές, αφού κατά μέσο όρο οι γνωστικοί στόχοι επετεύχθησαν σε ένα ποσοστό περίπου 75%, ενώ οι συναισθηματικοί και οι ψυχοκινητικοί στόχοι σε ποσοστό 85%. Το δείγμα των 19 μαθητών αφορούσε σε διδασκόμενους με καλή θεωρητική κατάρτιση στη φυσική και τα μαθηματικά αλλά και αρκετή εργαστηριακή εμπειρία που τους ακολουθούσε από την Α' Λυκείου. Επομένως το διδακτικό σενάριο στο σύνολό του είναι εφαρμόσιμο στη σχολική τάξη και δημιουργεί προσδοκίες σε ένα μαθητικό δυναμικό που κατέχει ένα ικανό θεωρητικό και εργαστηριακό

υπόβαθρο. Έτσι προτείνεται ο σχεδιασμός και η εφαρμογή παρόμοιων διδακτικών πρακτικών για τη μελέτη και άλλων κινήσεων όπως οι ευθύγραμμες κινήσεις, η οριζόντια βολή και η ελεύθερη πτώση.

### **Επίλογος**

Η χρησιμοποίηση των λογισμικών ανάλυσης βίντεο στη μελέτη των κινήσεων αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση ένταξης νέων τεχνολογιών στη διδακτική πράξη, αφού η αξιοποίησή τους ξεφεύγει από τη φιλοσοφία των περισσότερων διδακτικών εργαλείων ΤΠΕ όπως π.χ. τα προγράμματα προσομοίωσης, οι εγκυκλοπαίδειες γνώσης, το διαδίκτυο κλπ. Τα συγκεκριμένα λογισμικά βρίσκουν εφαρμογή σε πραγματικά πειράματα και έτσι αναδεικνύεται η καθοριστική συμβολή των ΤΠΕ στην εργαστηριακή πρακτική. Το συγκεκριμένο διδακτικό σενάριο φιλοδοξεί να αποτελέσει το έναυσμα για την εφαρμογή παρόμοιων διδακτικών πρακτικών στη σχολική τάξη, ώστε να αξιολογηθούν τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα από την χρησιμοποίηση λογισμικών ανάλυσης βίντεο. 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**

- Gronlund, N. (1985). *Measurement and evaluation in teaching, 5<sup>th</sup> edition*. New York: Macmillan and Company.
- Αρναουτάκης, Ι., Καρανίκας, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., & Κουρελής, Ι. (2005). *Πειράματα Φυσικής για το Δημοτικό, το Γυμνάσιο και το Λύκειο*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- 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.
- Κασσέτας, Α. (2000). *Το μακρόν Φυσική προ του βραχέως διδάσκω*. Αθήνα: Σαββάλας.
- Κασσέτας, Α. (2004). *Το μήλο και το κουάρκ*. Αθήνα: Σαββάλας.
- Κασσωτάκης, Μ. (1981). *Η αξιολόγηση της επίδοσης των μαθητών*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Ματσαγγούρας, Η. (2000). *Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Ματσαγγούρας, Η. (2005). *Η σχολική τάξη*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Πατάκης.