

Μετρήσεις ακριβείας και δημιουργία απομονωμένου περιβάλλοντος στο σχολικό εργαστήριο Φυσικής με την αξιοποίηση των ΤΠΕ

Κων/νος Χ. Γεωργόπουλος¹, Γεώργιος Α. Ευαγγελλάκης²

¹ 2^ο Ενιαίο Λύκειο Ιωαννίνων kgeorgop@otenet.gr

² Φυσικό Τμήμα Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Περίληψη

Σημαντικό μέρος της εκπαίδευσης στη Φυσική αποτελούν τα πειράματα. Το σχολικό εργαστήριο συνήθως υστερεί στην ακρίβεια των μετρήσεων και στη δυνατότητα πραγματοποίησης σύνθετων πειραμάτων λόγω του εξοπλισμού και της δυσκολίας που αντιμετωπίζει να απλουστεύσει το υπό μελέτη πρόβλημα. Στην εργασία θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε την επίδραση που ασκούν οι ΤΠΕ (Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών) στο σχολικό εργαστήριο Φυσικής και συγκεκριμένα: α) στην πραγματοποίηση μετρήσεων ακριβείας με την χρήση του συστήματος MBL, β) στην δυνατότητα του λογισμικού να δημιουργεί απομονωμένο περιβάλλον («αθόρυβο δωμάτιο») και αθόρυβες πειραματικές διατάξεις αποκλείοντας τους θορύβους που προέρχονται από τον περιβάλλοντα χώρο και από την κίνηση της πειραματικής συσκευής το οποίο στην πράξη μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με ακριβό εξοπλισμό και γ) στην οπτικοποίηση των πειραματικών δεδομένων (εμφάνιση κατάλληλων γραφικών παραστάσεων) δίνοντας με τον τρόπο αυτό την δυνατότητα να εστιάσουμε στις αντίστοιχες έννοιες (ταλάντωση ή διακρότημα) ώστε αφενός μεν να γίνουν κατανοητές από τους μαθητές και αφετέρου να πραγματοποιηθούν μετρήσεις ακριβείας (μέτρηση περιόδου ταλαντώσεων-διακροτημάτων).

Εισαγωγή

Ο ρόλος του εργαστηρίου είναι κεντρικός στα μαθήματα Φυσικής για το Γυμνάσιο και το Λύκειο διότι οι μαθητές πρέπει να οικοδομούν την γνώση τους για τις έννοιες της Φυσικής, να ανακαλύπτουν σχέσεις καθώς επίσης και να επιβεβαιώνουν την επιστημονική άποψη.

Αυτή η γνώση δεν μπορεί απλά να μεταφερθεί με το διδάσκοντα αλλά πρέπει να αναπτυχθεί από τους μαθητές σε αλληλεπίδραση με τη φύση και το διδάσκοντα.

Στα πλαίσια αυτά η πραγματοποίηση του πειράματος καθώς επίσης η παρατήρηση, η μέτρηση και η απόκτηση των δεδομένων είναι ουσιαστική για τη βαθιά και λεπτομερή κατανόηση των φυσικών διαδικασιών. Πραγματοποιώντας πειράματα στο εργαστήριο οι μαθητές αποκτούν τεχνικές δεξιότητες και καταλαβαίνουν τους έμφυτους περιορισμούς ακριβείας στη μέτρηση των σχετικών παραμέτρων (Lauterburg, 1999).

Οι πειραματικές δραστηριότητες πρέπει να σχεδιάζονται με το σκεπτικό να αποκτήσουν οι μαθητές δεξιότητες και αυτοπεποίθηση στα ακόλουθα (Escobar et al, 1992):

- Μέτρηση των φυσικών ποσοτήτων με την κατάλληλη ακρίβεια
- Αναγνώριση των παραγόντων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αξιοπιστία των μετρήσεων τους
- Επιδέξιους χειρισμούς των υλικών, συσκευών, εργαλείων και των οργάνων μέτρησης
- Σαφείς περιγραφές των παρατηρήσεων και μετρήσεών τους
- Παρουσίαση της πληροφορίας στην κατάλληλη μορφή με τις κατάλληλες λεκτικές, γραφικές και μαθηματικές αναπαραστάσεις.

- Εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων και δυνατότητα συζήτησης από τις παρατηρήσεις τους
- Δυνατότητα να υποστηρίζουν λογικά τα συμπεράσματα και τις προβλέψεις τους
- Ενεργή συμμετοχή στα πλαίσια ομάδων (μαθητές και διδασκων) για συνεργατική εργασία
- Σαφή υποβολή της έκθεσης των παρατηρήσεων, συμπερασμάτων και προβλέψεων με δυνατότητα αφενός μεν για άτυπες συζητήσεις και ως επίσημη εργαστηριακή έκθεση
- Δυνατότητα να αναγνωρίζουν εκείνες τις ερωτήσεις που μπορούν να απαντηθούν δια μέσου του πειράματος και να σχεδιάζουν, να εκτελούν, να αποτιμούν και να παρουσιάζουν αυτά τα πειράματα.

Παρόλα αυτά θα πρέπει να τονίσουμε και τους κινδύνους που υπάρχουν από την έμφαση που δίνεται στις πειραματικές διαδικασίες και δραστηριότητες στο εργαστήριο. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να απομακρυνόμαστε από την κατανόηση των εμπλεκόμενων εννοιών (Τζιμογιάννης κ. α., 1999).

Τα συστήματα MBL (Microcomputer based laboratory) στην εκπαιδευτική διαδικασία

Παράλληλα με την εξέλιξη των δυνατοτήτων του υπολογιστή, αναπτύχθηκαν εφαρμογές, οι οποίες βοηθούν τους μαθητές στην εκτέλεση φάσεων της εργαστηριακής εργασίας, όπως η πραγματοποίηση μετρήσεων φυσικών μεγεθών, η συλλογή και καταγραφή δεδομένων, η ανάλυση των μεταβολών και η αναπαράστασή τους. Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές για την πραγματοποίηση πειραμάτων στο εργαστήριο των Φυσικών Επιστημών, περιλαμβάνει χρήση υπολογιστή και ειδικών συστημάτων αισθητήρων, τα οποία αναφέρονται διεθνώς ως MBL (Microcomputer Based Laboratory). Βασικό χαρακτηριστικό των διατάξεων αυτών είναι η αυτόματη λήψη μετρήσεων αναφορικά με τις μεταβολές οποιουδήποτε σχεδόν φυσικού μεγέθους από πειραματικές διατάξεις ή από το περιβάλλον, η επεξεργασία τους από τον υπολογιστή και η απεικόνιση των μεταβολών σε πραγματικό χρόνο μέσω γραφικών παραστάσεων ή άλλων συμβολικών αναπαραστάσεων.

Βιβλιογραφικά έχουν καταγραφεί τα θετικά αποτελέσματα μάθησης από την χρήση των συστημάτων MBL (Krajcik and Layman 1992, Kennedy and Finn 2000, Thornton και Sokoloff 1990,1997).

Συγκρινόμενα τα συστήματα MBL με άλλες προσεγγίσεις διδασκαλίας που μας παρέχει η τεχνολογία (π.χ. προσομοιώσεις, microworlds) οι μαθητές αλληλεπιδρούν απευθείας με τα φυσικά φαινόμενα και όχι με τις απλουστευμένες αναπαραστάσεις τους. Πράγματι ο MacKenzie παρατήρησε ότι τα MBL αποτελούν την μέση λύση μεταξύ του παραδοσιακού εργαστηρίου που επικεντρώνεται αυστηρά στο υπο μελέτη θέμα –με όλους τους περιορισμούς που συνεπάγεται- και στις προσομοιώσεις οι οποίες είναι αφαιρετικές και δεν έχουν την συμμετοχή των μαθητών στην πειραματική διαδικασία (Unesco, 2003).

Όμως εκτός των θετικών αποτελεσμάτων μάθησης τα συστήματα MBL καθώς επίσης και το λογισμικό μπορούν να συνεισφέρουν στην πραγματοποίηση πειραμάτων τα οποία σε άλλες συνθήκες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν ή απαιτείται πολύπλοκος και δαπανηρός εξοπλισμός.

Στην εργασία του οι Heck και Uylings (2005) μελετούν την πτώση ενός αντικειμένου υπο την επίδραση της βαρυτικής δύναμης και της τάσης ενός σχοινιού που είναι δεμένο γύρω από τον άξονά του (ένα είδος γογο). Ο συνδιασμός μεταφορικής και στροφικής κίνησης καθώς και το περιορισμένο μήκος του σχοινιού κάνει την κίνηση αρκετά ενδιαφέρουσα για την μελέτη της. Ο ρόλος της τεχνολογίας είναι να δώσει την δυνατότητα στους μαθητές να συλλέξουν ακριβή πειραματικά δεδομένα μέσω video τα οποία στην συνέχεια με την βοήθεια του λογισμικού θα τα επεξεργαστούν ώστε να τα αντιπαραβάλλουν με τα θεωρητικά αναμενόμενα.

Σε άλλη εργασία ο Bryan, (2004) μελετά την την επίδραση του λογισμικού ανάλυσης video στην κατανόηση από τους μαθητές της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Για τον λόγο αυτό οι μαθητές συλλέγουν πειραματικά δεδομένα βιντεοσκοπώντας την κίνηση ενός αντικειμένου

που πέφτει και αναπηδά. Στην συνέχεια με την βοήθεια του λογισμικού επεξεργάζονται-αναλύουν τα πειραματικά δεδομένα και τα εμφανίζουν με την μορφή γραφικών παραστάσεων το οποίο ήταν απίστευτα δύσκολο ή αδύνατο χωρίς την χρήση της τεχνολογίας.

Σε άλλη εργασία ο Girps (2000) παραθέτει την δυνατότητα της τεχνολογίας για την πειραματική επίδειξη απλών και καθημερινών φαινομένων (για το ενδιαφέρον των μαθητών) όπως ο υπολογισμός της ταχύτητας του ήχου σε διαφορετικά μέσα διάδοσης και η σύγκρισή της με τις τιμές που έχουν καταγραφεί βιβλιογραφικά.

Επίσης στην εργασία τους οι Young και Mulder (2002) χρησιμοποιώντας μια αεροτράπεζα και δύο οχήματα που συγρούονται πάνω σ' αυτή μελέτησαν τη διατήρηση της γραμμικής ορμής και τη διατήρηση (ή μη διατήρηση) της κινητικής ενέργειας κατά την διάρκεια ελαστικών και μη ελαστικών συγκρούσεων με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Καταγράφοντας την θέση (με μεγάλο ρυθμό) των οχημάτων σε συνάρτηση με τον χρόνο για το σύντομο χρονικό διάστημα της κρούσης μπόρεσαν να υπολογίσουν την ταχύτητα μέσω της παραγώγου με μεγάλη ακρίβεια. Λαμβάνοντας υπόψη: α) την αντίσταση του αέρα, β) την μετατροπή μέρους της κινητικής ενέργειας των οχημάτων σε δυναμική των ελατηρίων και γ) την μάζα των ελατηρίων (μη ιδανικά οπότε αποθηκεύουν και κινητική ενέργεια) σύγκριναν τις πειραματικές τιμές με τις θεωρητικά αναμενόμενες.

Με ανόλογο σκεπτικό στην εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε την επίδραση της τεχνολογίας σε ένα σχολικό εργαστήριο με την βοήθεια δύο πειραμάτων:

α) την πραγματοποίηση μετρήσεων ακριβείας αναδεικνύοντας τις δυνατότητες του συστήματος MBL με το σύστημα MBL της Pasco και

β) την δημιουργία αθόρυβου δωματίου την οπτικοποίηση των πειραματικών δεδομένων με την αξιοποίηση των ΤΠΕ.

Ο στόχος είναι η πραγματοποίηση των ανωτέρω πειραμάτων που σε άλλες συνθήκες απαιτούν πολύπλοκες διατάξεις και απαγορευτικό κόστος για ένα σχολικό εργαστήριο.

Τα δύο αυτά πειράματα εντάσσονται σε ένα γενικότερο πλαίσιο, στη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου και στη μελέτη του φαινομένου Doppler με προσιτά μέσα και διαδικασίες (Γεωργόπουλος 2004).

Υπολογισμός της ταχύτητας περιστροφής στερεού

Για να υπολογίσουμε την ταχύτητα περιστροφής ενός κυκλικά περιστρεφόμενου κυλίνδρου τοποθετήσαμε μια φωτοπύλη (Pasco, 1997) η οποία ήταν συνδεδεμένη με το Interface box (500) της εταιρίας Pasco (Pasco Manual, 1996) το οποίο στη συνέχεια συνδεόταν με την θύρα Appletalk ενός υπολογιστή Macintosh.

Η φωτοπύλη ανιχνεύει την κίνηση όταν η ηλεκτρονική της δέσμη διακόπτεται από το "πέρασμα" ενός κυλινδρικού άξονα διαμέτρου 8,3mm

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό Science Workshop Version 3.2 μετρήθηκε ο χρόνος Δt που ο κυλινδρικός άξονας διακόπτει την φωτοπύλη οπότε στην συνέχεια προσδιορίστηκε η ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου μέσω της σχέσης:

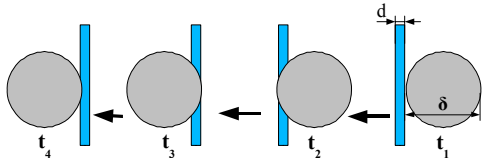
$$U_{\text{φωτ}} = \frac{\text{διάμετρος κυλινδρικού άξονα}}{\text{χρόνος περάσματος}} = \frac{0,0083}{\Delta t} \quad (1)$$

Παρόλα αυτά όμως διαπιστώσαμε ότι στον τελικό μας στόχο (υπολογισμό της ταχύτητας του ήχου) είχαμε μεγάλη απόκλιση. Μελετώντας όμως προσεκτικά τον τρόπο που το λογισμικό έδινε το χρόνο «περάσματος» του κυλίνδρου από την δέσμη φωτός της φωτοπύλης υπήρχε σφάλμα παράλλαξης οπότε χρειάστηκε να διορθώσουμε τους υπολογισμούς μας χρησιμοποιώντας την έννοια της «ενεργού διαμέτρου» του κυλίνδρου και υπολογίσαμε την ταχύτητα του κυλινδρικού άξονα μέσω της σχέσης:

$$U_{\text{φωτ}} = \frac{\text{ενεργή διάμετρος κυλινδρικού άξονα}}{\text{χρόνος περάσματος}} \quad (2)$$

Προσδιορισμός της ενεργού διαμέτρου του κυλινδρικού άξονα

Η ενεργή διάμετρος του κυλινδρικού άξονα είναι διαφορετική από την διάμετρο του και τούτο οφείλεται στο ότι η υπέρυθρη δέσμη της φωτοπύλης έχει εύρος (σχήμα 1).



δ =διάμετρος κυλίνδρου, d =εύρος δέσμης φωτοπύλης

Η φωτοπύλη διακόπτεται από t_2 έως t_3 - Ενεργή διάμετρος= $\delta-d$ (t_2 έως t_3)

Σχήμα 1: Συσχέτιση ενεργού διαμέτρου, διατομής κυλίνδρου και εύρους δέσμης της φωτοπύλης.

Οπότε η φωτοπύλη *καταγράφει μεν σωστά τον χρόνο* που διαρκεί το πέρασμα του κυλίνδρου αλλά στις διαστάσεις του αντικειμένου πρέπει να λάβουμε υπόψη την «ενεργή διάμετρο» και όχι την πραγματική λόγω του σφάλματος παράλλαξης.

Ο προσδιορισμός της ενεργού διαμέτρου έγινε εκτελώντας το ακόλουθο πείραμα:

Τοποθετούμε δύο φωτοπύλες σε επαφή οπότε η απόσταση μεταξύ τους είναι το πάχος τους - 1,54cm όπως φαίνεται στο σχήμα (2)



Σχήμα 2: Οι δύο φωτοπύλες που η απόσταση τους είναι 1,5cm.

Ο κίνηση του κυλίνδρου διακόπτει πρώτα την (φωτοπύλη-1) και μετά την (φωτοπύλη-2). Μέσω του λογισμικού Science Workshop της Pasco καταγράφουμε για τις δύο φωτοπύλες τους χρόνους «παραμονής» σε κάθε μία, από την μια στην άλλη και τις αντίστοιχες ταχύτητες που φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χρόνοι παραμονής και ταχύτητες του κυλίνδρου στις δύο φωτοπύλες.

	gate (1)	gate (2)	gate (1) → gate (2)
$\Delta t(\text{sec})$	0,0078	0,0081	0,0162
$U(\text{m/sec})$	1,0641	1,0247	0,9506

Ήδη γνωρίζουμε ότι οι ταχύτητες U_1 και U_2 *δεν ανταποκρίνονται* στην πραγματικότητα διότι υπολογίζονται με το λογισμικό μέσα από την σχέση (1) ενώ η $U_{1 \rightarrow 2}$ λόγω του ίδιου συστηματικού σφάλματος και στις δύο φωτοπύλες είναι ακριβής και εκφράζει την σωστή μέση τιμή των ταχυτήτων U_1 και U_2 . Έτσι ακολουθώντας τους κατωτέρω υπολογισμούς μπορούμε να προσδιορίσουμε το λάθος στην μέση ταχύτητα που είναι και λάθος στις ταχύτητες U_1 και U_2 . Στην συνέχεια υπολογίζουμε την $U_{1(\text{πραγμ})}$ (σχέσεις-3) και την ενεργή διάμετρο του κυλινδρικού άξονα (σχέση-46)

$$\bar{U} = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{1,0641 + 1,0247}{2} = 1,0444 \text{ m/sec}$$

$$\Lambda_{\acute{\alpha}\theta\omicron\varsigma} = \Lambda = \bar{U} - U_{1 \rightarrow 2} = 1,0444 - 0,9506 = 0,0938 \text{ m/sec} \quad (3)$$

$$U_{1(\text{πρoαγμ})} = U_1 - \Lambda = 1,0641 - 0,0938 = 0,9703 \text{ m/sec}$$

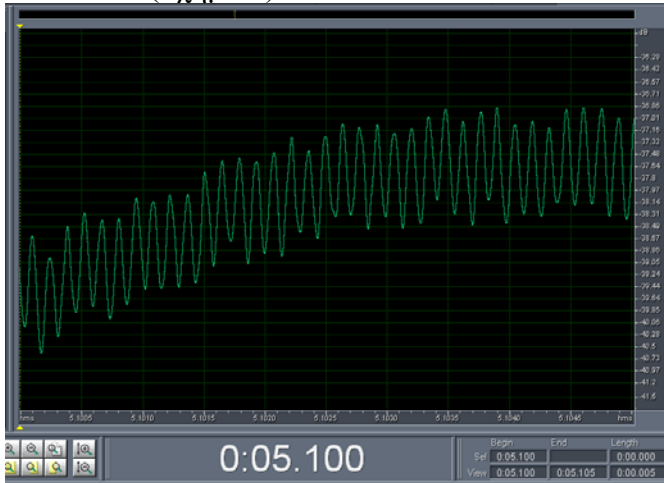
Άρα:

$$\text{Ενεργή διάμετρος} = \Delta x = U_{1(\text{πρoαγμ})} \times \Delta t_1 = 0,9703 \times 0,0078 = 0,0076 \text{ m} \quad (4)$$

$$\text{Και } U_{\text{φωτ}} = \frac{\text{ενεργή διάμετρος κυλινδρικού άξονα}}{\text{χρόνος περάσματος}} = \frac{0,0076}{\Delta t}$$

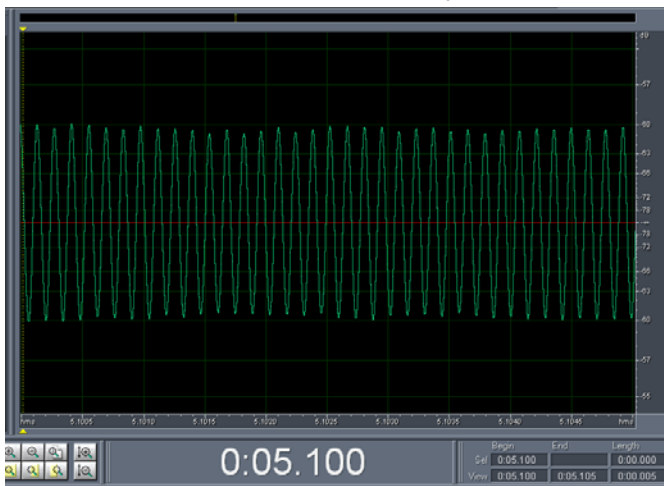
Δημιουργία «αθούρου δωματίου» και υπολογισμός της συχνότητας ηχητικής πηγής

Χρησιμοποιώντας ένα απλό μικρόφωνο ενός υπολογιστή καταγράψαμε με το λογισμικό Nero Wave Editor τον αρμονικό ήχο που παράγεται από μια ηχητική πηγή της οποίας γνωρίζαμε την τάξη μεγέθους της συχνότητάς της (7000-7500Hz). Το αρχείο που πήραμε ήταν το ακόλουθο. (σχήμα 3)



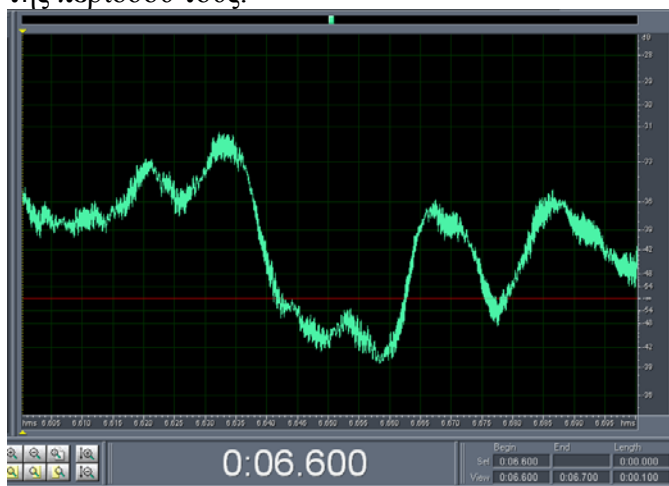
Σχήμα 3: Καταγραφή του αρμονικού σήματος της πηγής. (χωρίς φιλτράρισμα συχνοτήτων)

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το λογισμικό CoolEdit Pro «κρατήσαμε» (φιλτράραμε) τις συχνότητες αυτές που βρίσκονται μεταξύ 6000 – 8000 Hz (Γνωρίζαμε ήδη ότι η συχνότητα της πηγής είναι μεταξύ 7000 – 7500 Hz). Η εικόνα που είδαμε στην οθόνη του υπολογιστή φαίνεται στο σχήμα 4 από όπου μπορέσαμε να υπολογίσουμε την ακριβή τιμή της συχνότητας που βρέθηκε ίση με $f_o = 7407,4 \text{ Hz}$.

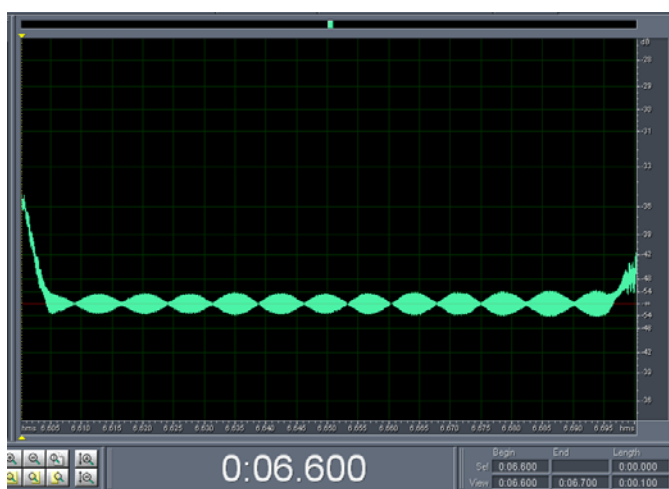


Σχήμα 4: Καταγραφή του αρμονικού σήματος της πηγής. (με φιλτράρισμα συχνοτήτων)

Ακολούθως η διαδικασία επαναλήφθηκε μέσω ενός πειράματος τελικός σκοπός του οποίου ήταν η παραγωγή διακροτημάτων με την ανάμειξη σημάτων δύο κινούμενων ηχητικών πηγών. Οι κινήσεις των πηγών αλλά και των εξαρτημάτων του πειράματος δημιουργούσε επιπλέον θορύβους τους οποίους απομονώσαμε με το φιλτράρισμα των συχνοτήτων. Τα δεδομένα που πήραμε (πρίν και μετά το φιλτράρισμα των συχνοτήτων) απεικονίζονται στις σχήματα 5 και 6. Τα σχήματα αυτά απεικονίζουν και την αναγκαιότητα της χρήσης του λογισμικού αφενός μεν να σχηματισθούν τα διακροτήματα και αφετέρου για τον υπολογισμό της περιόδου τους.



Σχήμα 5: Καταγραφή του σήματος των μικροφώνων χωρίς το φιλτράρισμα των συχνοτήτων.



Σχήμα 6: Καταγραφή του σήματος των μικροφώνων με το φιλτράρισμα των συχνοτήτων.

Συμπεράσματα

Στην εργασία το πλαίσιο χρήσης του υπολογιστή αφορούσε την καταγραφή, επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση των πειραματικών δεδομένων.

Στο πρώτο μέρος χρησιμοποιώντας το σύστημα MBL της Pasco καταγράψαμε με μεγάλη ακρίβεια την ταχύτητα ενός στερεού αντικειμένου που περνούσε μέσα από μια φωτοπύλη διορθώνοντας το σφάλμα παράλλαξης που υπήρχε λόγω του εύρους της ηλεκτρονικής δέσμης. Με τον τρόπο αυτό αναδείξαμε τις δυνατότητες των συστημάτων MBL για την πραγματοποίηση μετρήσεων ακριβείας αλλά και την εισαγωγή των μαθητών στην έννοια του πειραματικού σφάλματος που οφείλεται σε κατασκευαστικές αδυναμίες των οργάνων μέτρησης.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το λογισμικό CoolEdit Pro μπορέσαμε να απομονώσουμε ένα

φάσμα ηχητικών συχνοτήτων (6000-8000)Hz γύρω από την συχνότητα της πηγής (7407Hz) δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό απομονωμένο περιβάλλον («αθόρυβο δωμάτιο») και αθόρυβες πειραματικές διατάξεις το οποίο στην πράξη μπορεί να πραγματοποιηθεί με μόνο με ακριβό εξοπλισμό.

Στο σημείο αυτό παρατηρήσαμε την αναγκαιότητα του λογισμικού στο δεύτερο πείραμα (σύνθεση φυσικών εννοιών - παραγωγή διακροτημάτων) και λιγότερο στο πρώτο πείραμα που ήταν η καταγραφή μιας ταλάντωσης λόγω της δημιουργίας επιπρόσθετων θορύβων που οφειλόταν στην κίνηση των ηχητικών πηγών.

Ακολούθως χρησιμοποιήσαμε την δυνατότητα του λογισμικού να οπτικοποιεί τα πειραματικά δεδομένα δίνοντας μας την δυνατότητα να εστιάσουμε στις αντίστοιχες έννοιες (ταλάντωση ή διακρότημα) ώστε α) να γίνονται κατανοητές από τους μαθητές και β) να πραγματοποιούμε μετρήσεις ακριβείας (μέτρηση περιόδου ταλαντώσεων-διακροτημάτων).

Από τα παραπάνω προκύπτουν ως διδακτικές προτάσεις α) η αξιοποίηση απλών κατασκευών σε συνδυασμό με λογισμικό γενικής χρήσης για την πραγματοποίηση πειραμάτων που συνδιάζουν διαφορετικές φυσικές έννοιες και απαιτούν πολύπλοκες και δαπανηρές διατάξεις και β) η υλοποίηση πειραματικών διατάξεων ακριβείας με την βοήθεια των συστημάτων MBL αφενός μεν για την επαλήθευση και κατανόηση βασικών σχέσεων και αφετέρου την εισαγωγή-κατανόηση του πειραματικού σφάλματος στα πλαίσια του σχολικού εργαστηρίου.

Ιδιαίτερα η αξιοποίηση λογισμικού γενικής χρήσης με μη παραδοσιακό συνολικά τρόπο – η αξιοποίηση του CoolEdit σε πειράματα φυσικής και όχι για επεξεργασία ήχου - μετατρέπει το λογισμικό γενικής χρήσης σε ένα γνωστικό εργαλείο που συνεισφέρει ισχυρά στην οικοδόμηση της γνώσης (Μικρόπουλος 2006)

Παραπομπές

- Γεωργόπουλος, Κ. (2004) «Διδακτική προσέγγιση του φαινομένου Doppler με την χρήση των Νέων Τεχνολογιών» Διπλωματική εργασία στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος του Φυσικού Τμήματος του Παν/μίου Ιωαννίνων «Νέες Τεχνολογίες και έρευνα στη διδακτική της Φυσικής»
- Μικρόπουλος, Α.(2006), “Ο υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο» Αθήνα, Ελληνικά γράμματα
- Τζιμογιάννης, Α., Μικρόπουλος, Γ.Α.,Κουλαϊδής, Β (1999), Ο Υπολογιστής στη διδασκαλία της Φυσικής. Μια άμεση εφαρμογή με χρήση φύλλων εργασίας , Σύγχρονη Εκπαίδευση , 85, 38-46.
- Bryan J., (2004) “Video analysis software and the investigation of the conservation of mechanical energy” Contemporary Issues in Technology and Teacher Education [Online serial], 4(3). Available: <http://www.citejournal.org/vol4/iss3/science/article1.cfm>
- DeYoung P., and Mulder P. (2002) “Studying collisions in the general physics laboratory with quadrature light emitting diode sensors” American Journal of Physics, Volume 70, Issue 12, pp. 1226-1230
- Escobar, C., Hickman, P., Morse, R., Preece, B., (1992). The Role of Laboratory Activities in High School Physics, A Position Paper of the AAPT Committee on Physics in High Schools August 1992 Subcommittee on the Role of the Laboratory: (Approved by the AAPT Executive Board, November 1992) <http://www.aapt.org/Policy/roleoflabs.cfm>
- Gipps J., (2006) “Data logging and inquiry learning in science” Proceedings of the 4th international workshop on Middleware for grid computing, Melbourne, Australia November 27 - December 01, 2006.
- Heck A. and Uylings P. (2005) “Yoyo joy” Proceedings of the 7th International Conference on Technology in Mathematics Teaching, Volume 2, pp. 237-244.

- Kennedy, D., Finn, S., (2000). “The use of datalogging in teaching physics and chemistry in second-level schools in Ireland” The National Centre for Technology in Education
- Krajcik, J.S. & Layman, J.W. (1992) “Microcomputer-based laboratories in the science classroom” in Research Matters to the Science Teacher, National Association for Research in Science Teaching Monograph No. 5, p. 101.
- Lauterburg, U., (1999) “Lab VIEW in Physics Education Physics Institute” University of Bern, Switzerland.
- Pasco Manual, (1996) User’s guide for Science Workshop Version 2.2 Foothills Blvd, Roseville, USA.
- Pasco, (1997) Instruction Sheet for the PASCO Model ME-9204B-Accessory photogate. Foothills Blvd, Roseville, USA.
- Thornton, R. and Sokoloff, D. (1990) "Learning Motion Concepts Using Real-Time Microcomputer-Based Laboratory Tools" American Journal of Physics, Volume 58, Issue 9, pp. 858-867
- Thornton, R. and Sokoloff, D. (1997). “RealTime Physics: Active Learning Laboratory” The Changing Role of the Physics Department in Modern Universities, Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education, 1101-1118 (American Institute of Physics).
- Unesco, (2003). “Integrating Technology in Teaching Secondary Science and Mathematics. Effectiveness, Models of Integration, and Illustrative Examples.” UNESCO, Cairo Office, CI/INF & ED, <http://www.unesco-cairo.org>