

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2006)

5ο Συνέδριο ΕΤΠΕ «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»



Επίλυση προβλημάτων μηχανικής του άκαμπτου σώματος, στο τεχνολογικά σύγχρονο εκπαιδευτικό εργαστήριο φυσικών επιστημών

Σαρ. Ι. Οικονομίδης, Νικ. Φ. Βουδούκης, Δημ. Ι. Σωτηρόπουλος, Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Οικονομίδης Σ. Ι., Βουδούκης Ν. Φ., Σωτηρόπουλος Δημ. Ι., & Καλκάνης Γ. Θ. (2026). Επίλυση προβλημάτων μηχανικής του άκαμπτου σώματος, στο τεχνολογικά σύγχρονο εκπαιδευτικό εργαστήριο φυσικών επιστημών. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 609–616. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/9156>

■ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΑΚΑΜΠΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ, ΣΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Σαρ. Ι. Οικονομίδης

sarecon@primedu.uoa.gr

Νικ. Φ. Βουδούκης

nvoudoukis@primedu.uoa.gr

Δημ. Ι. Σωτηρόπουλος

sdimitr@primedu.uoa.gr

Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνης

kalkanis@primedu.uoa.gr

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος

Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε

Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Στην εργασία αυτή περιγράφονται τέσσερα πειράματα που χαρακτηρίζονται από την ευκολία εκτέλεσής τους, την χρήση (και) ψηφιακών τεχνολογιών, τον ενιαίο τρόπο αξιολόγησής μέσω του οποίου ελέγχεται η ικανότητα των φοιτητών ή και των μαθητών να διατυπώνουν υποθέσεις να συλλέγουν επεξεργάζονται και παρουσιάζουν πειραματικά δεδομένα να επιλύουν προβλήματα καθώς και να αντιλαμβάνονται τη σχέση τεχνολογίας και επιστήμης μέσα από το χειρισμό των Τ.Π.Ε. Επιδιώκεται επίσης να προσδιοριστεί το εάν η ικανότητα των φοιτητών να επιλύουν προβλήματα βελτιώνεται ως αποτέλεσμα της συνεργατικής πρακτικής εργασίας στο εργαστήριο. Στους φοιτητές δεν δίνονται οδηγίες τύπου «οδηγού μαγειρικής», αλλά αναμένεται να σχεδιάσουν μόνοι τους την πειραματική διαδικασία γνωρίζοντας το στόχο του πειράματος, και τον εξοπλισμό που τους διατίθεται. Η έκβαση είναι προκαθορισμένη, η προσέγγιση είναι παραγωγική και η διαδικασία παράγεται από τους φοιτητές. Πριν την προσέλευσή τους στο εργαστήριο για την εκτέλεση του πειράματος οι φοιτητές έχουν διδαχθεί τη φυσική θέματος με το οποίο θα ασχοληθούν και έχουν συμπληρώσει και επιδώσει στον εκπαιδευτικό μια προεργαστηριακή εργασία που είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να ελέγχεται η δυνατότητά τους να έχουν το καλύτερο μαθησιακό αποτέλεσμα με την εκτέλεση των πειραμάτων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας δύο φοιτητών του φυσικού τμήματος που εργάστηκαν στη φυσική του άκαμπτου σώματος, θεματική που οι ίδιοι επέλεξαν. Άλλες τέσσερις ομάδες φοιτητών εργάστηκαν σε διαφορετικές θεματικές με παρόμοια αποτελέσματα.

Λέξεις Κλειδιά

Εργαστήριο Επίλυσης Προβλημάτων, ροπή αδρανείας, τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μπορεί να αλλάξει ο τρόπος αξιολόγησης των φοιτητών (ή και μαθητών) σύμφωνα με το παράδειγμα της εκπαιδευτικής αξιολόγησης; (Sadler, Berlak και Gipps, 1994)¹.

Με τι είδους προβλήματα μπορεί να αναπτυχθεί η κριτική σκέψη των φοιτητών (ή και των μαθητών) και να αναδειχτεί ο χαρακτήρας, οι διαδικασίες, οι έννοιες, οι αξίες και η σχέση της επιστήμης με την τεχνολογία και το περιβάλλον;

Βελτιώνεται η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων από τους φοιτητές μέσα από συνεργατική πρακτική εργασία στο εργαστήριο όπου δεν δίνονται οδηγίες εκτέλεσης της εργαστηριακής άσκησης;

Χρησιμοποιούν οι φοιτητές αυτά τα οποία γνωρίζουν για να επιλύσουν το πρόβλημα;

Στην παρούσα εργασία περιγράφονται οι διαδικασίες που παρήγαγαν οι φοιτητές του φυσικού τμήματος

Επιλέχθηκε από τους ίδιους τους φοιτητές η θεματική της μηχανικής του άκαμπτου σώματος η οποία διδάσκεται τόσο στο λύκειο όσο και στο πρώτο έτος σπουδών στα φυσικά τμήματα. Επίσης επιλέχθηκε εξοπλισμός όπως αισθητήρες, φωτοπύλες, εκπαιδευτικά λογισμικά προσομοιώσεων, λογισμικά επεξεργασίας πειραματικών δεδομένων, και εργαλεία κατασκευής ιστοσελίδων.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σύμφωνα με τον Domin 1999² περιγράφονται τέσσερις μορφές εργαστηριακής διδασκαλίας και πρακτικής όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Μορφή	Έκβαση	Προσέγγιση	Διαδικασία
Ερμηνευτικό	Προκαθορισμένη	Παραγωγική	Δεδομένη
Ερευνητικό	Μη Προκαθορισμένη	Επαγωγική	Παράγεται από τους φοιτητές
Ανακαλυπτικό	Προκαθορισμένη	Επαγωγική	Δεδομένη
Επίλυση προβλημάτων	Προκαθορισμένη	Παραγωγική	Παράγεται από τους φοιτητές

Σε άλλες ομάδες φοιτητών ακολουθήσαμε την ερευνητική μορφή εργαστηριακής πρακτικής Σ. Οικονομίδης, Δ. Σωτηρόπουλος,, Γ.Θ. Καλκάνης "Investigating air resistance using extractor fan filters and plummet in MBL"³

Η μορφή της εργαστηριακής πρακτικής στην περίπτωση της παρούσης ήταν ή επίλυση προβλημάτων.

Αναζητώντας απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα στηριζόμενοι στα συμπεράσματα της μελέτης των Johnstone, A.H, Watt, A and Zamen, T.U,⁴ όσον αφορά τις προεργαστηριακές δραστηριότητες και την βελτίωση μέσω αυτών της κατανόησης της πρακτικής εργασίας αλλά και την ανάπτυξη θετικής στάσης των φοιτητών, προετοιμάσαμε μέσα από ένα προεργαστήριο φοιτητές του φυσικού τμήματος στη χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών που είναι δυνα-

τόν να χρησιμοποιηθούν σε ένα εργαστήριο φυσικών επιστημών. Επίσης στα πλαίσια του προεργαστηρίου κατασκευάσαμε ένα υποστηρικτικό λογισμικό πολύμορφης επικοινωνίας δημιουργημένο με ένα εργαλείο δημιουργίας ιστοσελίδων και δομημένο με βάση το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό πρότυπο (Καλκάνης Γ, 2002)⁵. Μέσα από το λογισμικό αυτό θέτονται τα προβλήματα και οι φοιτητές διατυπώνουν υποθέσεις τις οποίες καλούνται να ελέγξουν πειραματικά. Τέλος στο προεργαστήριο υπήρχαν ερωτήσεις σχετικές με τους νόμους και τις αρχές που χρειάζεται να γνωρίζουν οι φοιτητές για την επιτυχή εκτέλεση των πειραμάτων τους και την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων. Αφού ολοκληρώθηκε το προεργαστήριο ζητήθηκε από τους φοιτητές να επιλύσουν το πρόβλημα της μέτρησης της ροπής αδράνειας μιας μεταλλικής ράβδου με διάφορους τρόπους και της μέτρησης της ροπής αδράνειας μιας τροχαλίας. Οι φοιτητές παρήγαγαν και εκτέλεσαν τέσσερις εργαστηριακές ασκήσεις. Η μάθηση μέσω της επίλυσης προβλημάτων βοηθά τους φοιτητές στην εφαρμογή των γνώσεων του καθώς και στην συνεργασία και την αποτελεσματική επικοινωνία τόσο μεταξύ τους όσο και με τον εκπαιδευτικό. (Duch et. Al. 2001)⁶

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ

Μέτρηση της ροπής αδράνειας ράβδου με χρονόμετρο φωτοπύλης

Υλικά

Ορθοστάτης, σύνδεσμοι, μεταλλική ράβδος, φωτοπύλη συνδεδεμένη σε ηλεκτρονικό χρονόμετρο, διαστημόμετρο, μετροταινία, ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας.



Εικόνα 1. Η διάταξη.

Προτεινόμενη διαδικασία

Μετράμε το μήκος της ράβδου με τη μετροταινία το πάχος της με διαστημόμετρο και τη μάζα της με τον ηλεκτρονικό ζυγό. Η ράβδος αφήνεται από οριζόντια θέση και περνά από τη φωτοπύλη στην κατακόρυφη θέση. Το χρονόμετρο μετρά το χρόνο διέλευσης της ράβδου από τη φωτοπύλη. Από το πάχος, το μήκος, και το χρόνο διέλευσης της ράβδου υπολογίζουμε την ταχύτητα του άκρου της ράβδου και τη γωνιακή της ταχύτητα στην κατακόρυφη θέση. Τέλος εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας υπολογίζουμε τη ροπή αδράνειας της ράβδου. Με τη μέτρηση της μάζας και του μήκους της ράβδου μπορούμε να ελέγξουμε το αποτέλεσμα μας με την θεωρητικά προβλεπόμενη τιμή.

Πίνακας 1. Χρόνοι διέλευσης-αβεβαιότητες.

t (ms)			
7,0280 ± 0,0005	7,0620 ± 0,0005	6,8840 ± 0,0005	6,8460 ± 0,0005
7,0980 ± 0,0005	6,9920 ± 0,0005	6,9020 ± 0,0005	7,0350 ± 0,0005
7,1640 ± 0,0005	6,9910 ± 0,0005	7,0020 ± 0,0005	6,9950 ± 0,0005
7,0210 ± 0,0005	6,9900 ± 0,0005	6,8950 ± 0,0005	7,0140 ± 0,0005
7,0540 ± 0,0005	6,9980 ± 0,0005	6,9900 ± 0,0005	7,0060 ± 0,0005

Από τις τιμές του χρόνου διέλευσης που φαίνονται στο παραπάνω πίνακα υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διέλευσης $t=6,998\pm 0,0005$ ms
 Η μάζα της ράβδου μετρήθηκε με ζυγό ακριβείας και βρέθηκε :
 $m=182,65\pm 0,005$ g

Το μήκος της ράβδου μετρήθηκε με μετροταινία και βρέθηκε:

$$L=63,80\pm 0,05\text{cm}$$

Το πάχος της ράβδου μετρήθηκε με διαστημόμετρο και βρέθηκε:

$$d=3,00\pm 0,05\text{cm}$$

Η ταχύτητα του άκρου της ράβδου υπολογίστηκε:

$$u=d/t=4,287\text{m/s}$$

Η γωνιακή ταχύτητα:

$$\omega=v/L=6,72\text{ r/s}$$

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας προκύπτει: $I=mgL/\omega^2=0,0253\text{ kg m}^2$

Η θεωρητικά προβλεπόμενη τιμή σύμφωνα με τη σχέση $I=mL^2/3$ είναι $I=0,0247\text{ kg m}^2$

Μέτρηση της ροπής αδράνειας ράβδου μέσω της περιόδου της ταλάντωσης της.

Υλικά

Ορθοστάτης, σύνδεσμοι, μεταλλική ράβδος, χρονόμετρο χειρός, μετροταινία.

Προτεινόμενη διαδικασία

Η ράβδος του προηγούμενου πειράματος εκτρέπεται σε μικρή γωνία από τη θέση ισορροπίας της οπότε ως φυσικό εκκρεμές εκτελεί αρμονική στροφική ταλάντωση με περίοδο:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgs}}$$

όπου I η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς άξονα που περνά από το άκρο της και s η απόσταση του κέντρου μάζας της ράβδου από το άκρο της.

Μετρώντας το χρόνο 20 περιόδων βρίσκουμε την περίοδο της κίνησης και επαναλαμβάνοντας το πείραμα 20 φορές υπολογίζουμε τη μέση τιμή της περιόδου. Από την παραπάνω σχέση που δίνει την περίοδο του φυσικού εκκρεμούς υπολογίζουμε τη ροπή αδράνειας της ράβδου.



Εικόνα 2. Η ράβδος ως φυσικό εκκρεμές.

Πίνακας 2. Μετρήσεις.

20T (s)		T (s)	
24,810 ± 0,005	25,930 ± 0,005	1,2400 ± 0,005	1,2960 ± 0,005
26,220 ± 0,005	25,960 ± 0,005	1,3110 ± 0,005	1,2980 ± 0,005
26,420 ± 0,005	26,100 ± 0,005	1,3210 ± 0,005	1,3050 ± 0,005
26,750 ± 0,005	25,820 ± 0,005	1,3370 ± 0,005	1,2910 ± 0,005
26,230 ± 0,005	26,040 ± 0,005	1,3110 ± 0,005	1,3020 ± 0,005
26,000 ± 0,005	26,000 ± 0,005	1,3000 ± 0,005	1,3000 ± 0,005
26,110 ± 0,005	26,100 ± 0,005	1,3050 ± 0,005	1,3050 ± 0,005
25,950 ± 0,005	26,230 ± 0,005	1,2970 ± 0,005	1,3110 ± 0,005
26,000 ± 0,005	26,060 ± 0,005	1,3000 ± 0,005	1,3030 ± 0,005
26,010 ± 0,005	26,120 ± 0,005	1,3000 ± 0,005	1,3060 ± 0,005

Η μέση τιμή της περιόδου είναι: $T = 1,300 \pm 0,005$ s

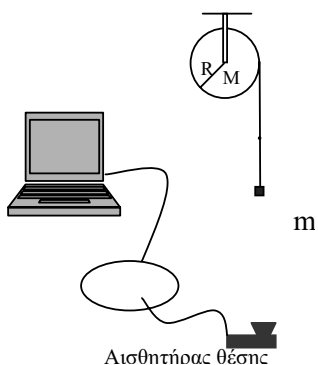
Από τη σχέση $I = mgsT^2/4\pi^2$ υπολογίζεται η ροπή αδράνειας της ράβδου ως προς τον άξονα που περνά από το άκρο της $I = 0,0233$ kg m².

Εύρεση της ροπής αδράνειας ράβδου στο εικονικό εργαστήριο.

Με το λογισμικό προσομοιώσεων Interactive Physics™ δημιουργείται μια ράβδος με τις διαστάσεις και τη μάζα της ράβδου που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα 1 και 2. Η ροπή αδράνειας της ράβδου όπως καταγράφεται και στο λογισμικό είναι $I = 0,0246$ kg m² (Η πειραματική τιμή του πρώτου πειράματος ήταν $I = 0,0247$ kg m²). Θα μπορούσαμε να εκτελέσουμε το πείραμα 2 στο εικονικό εργαστήριο. Δημιουργώντας μια ράβδο με τη μάζα και τις διαστάσεις της ράβδου που μας δόθηκε. Την θέτουμε σε ταλάντωση και μετράμε τον χρόνο των 20 αιωρήσεων της ως φυσικό εκκρεμές.

Μέτρηση της ροπής αδράνειας τροχαλίας με αισθητήρα θέσης**Υλικά**

Τροχαλία, Αισθητήρας θέσης, Η/Υ με εγκατεστημένο κατάλληλο λογισμικό, που είναι το CoachLab 5.0 στην Ελληνική του έκδοση σε συνδυασμό με την κονσόλα Coach Lab II, βαρίδι με μάζα 10g, νήμα.



Εικόνα 4. Η διάταξη.

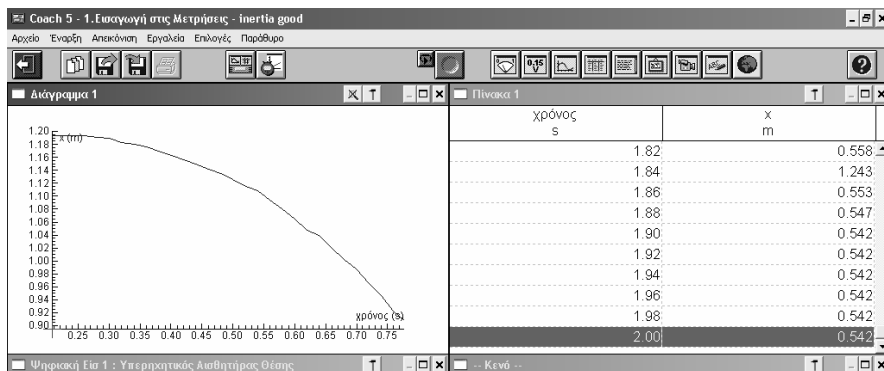
Προτεινόμενη διαδικασία

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η προτεινόμενη πειραματική διάταξη. Το βαρίδι αφήνεται και στην οθόνη του υπολογιστή δημιουργείται το διάγραμμα θέσης χρόνου από το οποίο υπολογίζεται η επιτάχυνση με την οποία κατέρχεται το βαρίδι. Με την εφαρμογή των νόμων του Νεύτωνα για την μεταφορική κίνηση του βαριδιού και για τη στροφική κίνηση της τροχαλίας, λαμβάνοντας υπ' όψη ότι η επιτάχυνση του βαριδιού είναι ίση με την επιτόχια επιτάχυνση του σημείου της τροχαλίας (αφού το νήμα δεν γλιστρά πάνω στην τροχαλία και θα πρέπει να το έχουμε

φροντίζει αυτό), προκύπτει ότι η ροπή αδράνειας της τροχαλίας είναι:

$$I = mR^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right)$$

(η εξαγωγή της παραπάνω σχέσης περιλαμβάνεται στην προεργαστηριακή εργασία)



Εικόνα 5. Το διάγραμμα θέσης – χρόνου και ο πίνακας τιμών, όπως εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή.

Από τις τιμές που φαίνονται και στον παρακάτω αναλυτικό πίνακα, προκύπτει ότι το βαρίδι άρχισε να κινείται μετά από 28 εκατοστά του δευτερολέπτου από τη στιγμή που άρχισε η λήψη των μετρήσεων και η αρχική του απόσταση από τον αισθητήρα θέσης ήταν 1,191m. Η καθοδική κίνησή του ανακόπτεται μετά 78 εκατοστά του δευτερολέπτου από τη στιγμή που άρχισε η λήψη των μετρήσεων και ενώ η απόστασή του από τον αισθητήρα θέσης ήταν 0.907 m. Επίσης φαίνεται ότι ο υπολογιστής λαμβάνει μια μέτρηση κάθε 2 εκατοστά του δευτερολέπτου.

Πίνακας 3. Μετρήσεις.

Χρόνος (s)	Απόσταση (m)
0.00	1.191
0.02	1.191
0.04	1.191
0.06	1.191
0.08	1.193
0.10	1.193
0.12	1.191
0.14	1.191
0.16	1.191
0.18	1.193
0.20	1.193
0.22	1.193
0.24	1.193

Χρόνος (s)	Απόσταση (m)
0.26	1.193
0.28	1.191
0.30	1.189
0.32	1.182
0.34	1.180
0.36	1.176
0.38	1.169
0.40	1.163
0.42	1.156
0.44	1.150
0.46	1.141
0.48	1.135
0.50	1.126

Χρόνος (s)	Απόσταση (m)
0.52	1.115
0.54	1.109
0.56	1.093
0.58	1.080
0.60	1.065
0.62	1.048
0.64	1.039
0.66	1.020
0.68	1.002
0.70	0.987
0.72	0.965
0.74	0.946
0.76	0.922
0.78	0.907

Η μετατόπιση $\Delta\psi$ του βαριδιού είναι $\Delta\psi=1,176-0,907=0,269\text{m}$

Το αντίστοιχο χρονικό διάστημα είναι $\Delta t=0,78-0,28=0,5\text{s}$. Επειδή (προκύπτει και θεωρητικά), η κίνηση είναι ομαλά επιταχυνόμενη θα ισχύει $\Delta\psi=a\Delta t^2/2$ από την οποία η επιτάχυνση προκύπτει ότι είναι:

$$a=2\Delta\psi/\Delta t^2 \text{ οπότε: } a=2,152 \text{ m/s}^2.$$

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η αξιολόγηση θα γίνει με γραπτή αναφορά και φύλλο αυτοαξιολόγησης που συμπληρώνεται από τους φοιτητές, με φύλλο παρατηρήσεων της εργασίας των φοιτητών, και την παραγωγή εκπαιδευτικού λογισμικού όπου οι φοιτητές θα έχουν το ρόλο του ομοδημιουργού με τους εκπαιδευτικούς.

Ως μια πρώτη εφαρμογή σε περιβάλλον εξετάσεων ετέθη το πρόβλημα με τη ράβδο στον Πανελλήνιο Διαγωνισμό Φυσικής 2006, η εκφώνηση του οποίου υπάρχει στο δικτυακό τόπο (<http://micro-kosmos@primedu.uoa.gr> σύνδεσμος «ενημέρωση»), χωρίς τον πειραματισμό αλλά με περιγραφή του πειράματος με τη φωτοπύλη. Στους μαθητές δίνονταν τα πειραματικά δεδομένα από τα οποία έπρεπε να υπολογίσουν τη ροπή αδράνειας. Στα 205 γραπτά μαθητών οι οποίοι απάντησαν στο θέμα αυτό, που περιείχε και άλλο ερώτημα, τα 38 περιείχαν σωστή απάντηση. Οι περισσότεροι μαθητές (143) αν και υποθέτουμε ότι οι επιλύουν το τυπικό πρόβλημα των σχολικών / φροντιστηριακών βιβλίων όπου τους δίνεται η ταχύτητα του άκρου της ράβδου δεν κατάφεραν να την υπολογίσουν μέσω του χρόνου διέλευσης της ράβδου από τη φωτοπύλη και του πλάτους της ράβδου. Τέλος 24 μαθητές έδωσαν ελλιπή απάντηση (μη εύρεση σφαλμάτων).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εισαγωγή τέθηκαν τέσσερα ερωτήματα. Η εκτίμησή μας είναι ότι με τη συγκεκριμένη προσέγγιση:

- 1) Οι φοιτητές εφαρμόζουν αυτά που γνωρίζουν προκειμένου να επιλύσουν ένα πρόβλημα.
- 2) Βελτιώνεται η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων από τους φοιτητές μέσα από συνεργατική πρακτική εργασία στο εργαστήριο όπου δεν δίνονται οδηγίες εκτέλεσης της εργαστηριακής άσκησης;
- 3) Αναδεικνύεται ο χαρακτήρας, οι διαδικασίες, οι έννοιες, οι αξίες και η σχέση της επιστήμης με την τεχνολογία και το περιβάλλον;
- 4) Μπορεί να αλλάξει ο τρόπος αξιολόγησης των φοιτητών ή και των μαθητών σύμφωνα με το παράδειγμα της εκπαιδευτικής αξιολόγησης.

Επειδή ένας από τους στόχους μας ήταν και η εμπλοκή των φοιτητών με τις Τ.Π.Ε. για την παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού, τους δόθηκε εκτός από τα υλικά και τα όργανα για την εκτέλεση των πειραμάτων και εκπαιδευτικό λογισμικό (Interactive Physics) καθώς και λογισμικό δημιουργίας ιστοσελίδων (Front page). Η παραγωγή της δραστηριότητας στο εικονικό εργαστήριο δε στηρίζεται βιβλιογραφικά. Παράχθηκε όμως από τους φοιτητές και δεν αναδεικνύεται δομημένα στην εργασία αυτή.

Η μέτρηση της ροπής αδράνειας της ράβδου με δύο διαφορετικούς τρόπους και το πολύ μικρό σχετικό σφάλμα (2,4%) που προέκυψε για τη μέτρηση της ροπής αδράνειάς της με τη χρήση χρονομέτρου φωτοπύλης, αλλά και

το σχετικό σφάλμα (5,7%) με τη μέθοδο του φυσικού εκκρεμούς, σε σχέση με τη θεωρητικά προβλεπόμενη τιμή, ενθάρρυνε τους φοιτητές να ζητήσουν και άλλα προβλήματα αυτού του τύπου. Επίσης η πειραματική διαδικασία για τη μέτρηση της ροπής αδράνειας της τροχαλίας με αισθητήρα θέσης φαίνεται να συμβάλλει στην εννοιολογική κατανόηση της έννοιας “ροπή αδράνειας”. Τα προβλήματα αυτά θα τεθούν με την ίδια μεθοδολογία και σε μαθητές της τρίτης λυκείου με στόχο την εκπαιδευτική αξιολόγησή τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Gipps, C. (1994). *Beyond Testing. Towards a theory of educational assessment.* London . Washington, D.C.: The Falmer Press.
2. Sadler, D. (1989). *Formative Assessment and the Design of Instructional Systems.* *Instructional Science*, 18, 119-144.
3. Berlak, H. (1992). *The Need for a New Science of Assessment.* In H. Domin 1999 A. *Review of Laboratory Instruction Styles.* *Journal of Chemistry Education*, 76 (4), 543-547, 1999.
4. “Investigating air resistance using extractor fan filters and plummet in MBL” Πρακτικά Συνεδρίου “2nd International Conference on: Hands on Science: Science in a Changing Education” 13-16 Ιουλίου 2005, Ρέθυμνο, Κρήτη.
5. Johnstone et.al. 1998 *The students attitude and cognition to a Physics Laboratory.* *Physics Education.* 35 (1), 22-26, 1998.
6. Καλκάνης Γ., (2002), *Εκπαιδευτική ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, Εκπαιδευτικές εφαρμογές των Τεχνολογιών Πληροφόρησης (και) στην Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, 1η έκδοση, Αθήνα*
6. Duch, , B.J., Groh, S.E. and Allen, D.E., *The Power of Problem Based Learning: A Practical “How To “For Teaching Undergraduate Courses in Any Discipline.* Sterling, Virginia: Stylus Publishing., 2001.