ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Πρόταση για τη διδασκαλία εννοιών σχετικών με τη διαδικασία μέτρησης φυσικών μεγεθών σε μαθητές Λυκείου

Διπλωματική εργασία

Βλαχοπούλου Ζωή

Α.Μ: ge12037

Επιβλέπων: Βελέντζας Αθανάσιος, Ε.ΔΙ.Π

Τριμελής Επιτροπή:

Βελέντζας Αθανάσιος, Ε.ΔΙ.Π

Θεοδώνης Ιωάννης, Ε.ΔΙ.Π

Κόντος Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Φεβρουάριος 2020

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαιτούσε αλληλεπίδραση με διάφορα άτομα για την εκπόνηση της. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κ. Αθανάσιο Βελέντζα για τη βοήθεια, την υποστήριξη και την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας.

Ευχαριστώ την διευθύντρια κ. Ματθαίου Μαρία του 1ου Λυκείου Χαλκίδας που με φιλοξένησε στο σχολικό χώρο κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας και τους καθηγητές για τη βοήθεια τους. Επίσης ευχαριστώ και τους μαθητές που οικειοθελώς συμμετείχαν στην έρευνα.

Ειδικά ευχαριστήρια αρμόζουν επίσης στον κ. Θεοδώνη Ιωάννη και στον κ. Κόντο Αθανάσιο για τις συμβουλές τους και τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή εξέτασης της εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον κ. Ραυτόπουλο Βασίλειο καθώς με ενημέρωνε για τη διαδικασία έγκρισης της αίτησης μου για τη διεξαγωγή της έρευνας από το Υπουργείο Παιδείας και το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για τη στήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αλλά και για τη στήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι δόμηση και αξιολόγηση μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση σχετικά με τη διδασκαλία εννοιών και την καλλιέργεια δεξιοτήτων που απαιτούνται κατά την επιστημονική / εκπαιδευτική διαδικασία της «μέτρησης» φυσικών μεγεθών. Αρχικά πραγματοποιείται βιβλιογραφική αναφορά στην ιστορία της μέτρησης καθώς και στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με αυτή. Παρουσιάζεται η διδακτέα ύλη που προτείνεται από το Υπουργείο Παιδείας καθώς και το περιεχόμενο των σχολικών εργαστηριακών οδηγών. Για το διδακτικό μετασχηματισμό και τη δόμηση της ΔΜΑ εκτός από τη μελέτη της βιβλιογραφίας αξιοποιήθηκαν και τα δεδομένα μιας μικρής έρευνας με ερωτηματολόγιο σε 100 μαθητές τα ευρήματα της οποίας παρουσιάζονται. Παρατίθεται η διαδικασία με την οποία δομήθηκε η ΔΜΑ και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε η διεξαγωγή της έρευνας. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα κατά την εφαρμογή της ΔΜΑ σε της Α΄ Λυκείου είναι το "teaching experiment". Παρουσιάζονται τα ευρήματα της έρευνας από την εφαρμογή της ΔΜΑ και τα συμπεράσματα που προέκυψαν. Από τα αποτελέσματα φαίνεται να προκύπτει μια ανάγκη για μεγαλύτερη άσκηση των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην επεξεργασία μετρήσεων και τη διαπραγμάτευση των εννοιών που σχετίζονται με αυτή την διαδικασία. Η προτεινόμενη ΔΜΑ φάνηκε να μπορεί να εφαρμοστεί το από πλευράς γνωστικού φορτίου αλλά και χρόνου και οι μαθητές είναι σε θέση με την κατάλληλη διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των διδασκαλιών της ΔΜΑ προκειμένου να επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα μαθησιακά αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: Μέτρηση, Αβεβαιότητα στη μέτρηση, Σχολικό εργαστήριο φυσικής

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is the structure and evaluation of a Teaching Learning Sequence (TLS) for the secondary education, regarding the teaching of concepts and the cultivation of skills required during the scientific/educational process of “measuring” physical quantities. In the beginning, a bibliographical reference to the history of the measurement is made, alongside with the alternative conceptions of the students regarding it. The curriculum which is suggested by the Ministry of Education is presented as well as the content of the school laboratory instructions. For the didactic transformation and the structure of TLS, apart from the study of the bibliography, the findings of a small survey with questionnaire given to 100 students were utilized. The procedure through which TLS was structured and the conditions under which the research was conducted are cited. The method used for the research during the application of TLS to students of the A grade Senior High School is “teaching experiment”. The findings of the research from the application of TLS and the conclusions reached are presented. From the results, there seems to be a necessity for greater exercise of the students of secondary education on measurement processing and negotiating concepts which are relevant to this process. The recommended TLS seemed that can be applied, from the cognitive load side as well as time, and the students, with the appropriate teacher mediation, are able to meet the requirements of the teaching of TLS with a view to achieving the intended learning results.

Key words: Measurement, Uncertainty in measurement, School physics lab

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δύο από τα βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής γνώσης, στα οποία συμφωνούν οι περισσότεροι φιλόσοφοι της επιστήμης είναι ότι αυτή είναι εμπειρική αλλά και καθοδηγουμένη από τη θεωρία (Lederman). Μεταξύ πειραματισμού και θεωρίας υπάρχει κυκλική συσχέτιση και αυτή θα πρέπει να αναδεικνύεται σε μια σύγχρονη διδασκαλία της Φυσικής (Duit & Tesch 2010, Βελέντζας & Χαλκιά 2015). Συνεπώς, μία σύγχρονη διδασκαλία της Φυσικής, αλλά και των Φυσικών Επιστημών γενικότερα, θα πρέπει να περιλαμβάνει την πρακτική εργασία των μαθητών στην τάξη ή στο εργαστήριο με βασικούς στόχους οι μαθητές να αποκτήσουν τη σχετική με το πείραμα γνώση περιεχομένου οικοδομώντας το αντίστοιχο εννοιολογικό πλαίσιο, να ασκηθούν στις μεθόδους της επιστήμης και να αναπτύξουν ενδιαφέροντα και θετική στάση προς την επιστήμη, καθώς επίσης και τις σχετικές δεξιότητες και ικανότητες (Hodson 1996).

Μια από τις βασικές επιστημονικές διαδικασίες στην οποία επιδιώκεται η άσκηση των μαθητών είναι η μέτρηση φυσικών μεγεθών. Έρευνες (Allie et al. 2003, Ευαγγελινός & Βαλασιάδης 1998, Lubben & Millar 1996, Buffer et al. 2001) που έχουν πραγματοποιηθεί στην τριτοβάθμια εκπαίδευση αναδεικνύουν τις απόψεις και τις ιδέες πρωτοετών φοιτητών σχετικά με έννοιες που σχετίζονται με τη διαδικασία της μέτρησης. Από τις έρευνες αυτές προκύπτει η μη επαρκής εμπειρία των πρωτοετών φοιτητών που μόλις έχουν κάνει τη μετάβαση από τη δευτεροβάθμια στην τριτοβάθμια εκπαίδευση καθώς και ύπαρξη «εναλλακτικών» ιδεών σχετικά με τη μέτρηση και την αβεβαιότητα αυτής.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω θεωρήθηκε εκπαιδευτικά ωφέλιμο να δομηθεί, να δοκιμαστεί και να αξιολογηθεί, στα όρια που επιτρέπει πρακτικά μια διπλωματική εργασία, μία διδακτική μαθησιακή ακολουθία για μαθητές του Λυκείου σχετικά με την διαδικασία της μέτρησης φυσικών μεγεθών. Διερευνώνται οι απόψεις των μαθητών για βασικές έννοιες που σχετίζονται με τη διαδικασία της μέτρησης και ο βαθμός στον οποίο αυτοί μπορούν να κατανοήσουν αυτές τις έννοιες και να εφαρμόσουν την γνώση που θα αποκτήσουν μέσω της προτεινόμενης διδασκαλίας.

Η εργασία περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται σύντομη αναφορά σε ιστορικά στοιχεία για τη μέτρηση στην επιστήμη από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Επίσης, παρουσιάζεται ο ρόλος της μέτρησης στην εκπαίδευση και οι ιδέες των μαθητών. Τέλος στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνεται και το ισχύον πρόγραμμα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που σχετίζεται με τη διαδικασία της μέτρησης.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** περιγράφεται ο σκοπός της έρευνας καθώς και η δόμηση της μέσα από την πιλοτική έρευνα. Επίσης παρουσιάζεται η μέθοδος “teaching experiment” που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή της.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται λεπτομερής αναφορά στο 1^{ο} στάδιο της έρευνας το οποίο αφορά στον αναγκαίο διδακτικό μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης σε γνώση προς διδασκαλία των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Παρατίθενται η μελέτη των σχολικών πειραματικών και ο απαραίτητος διδακτικός μετασχηματισμός. Παρουσιάζεται η δόμηση του ερωτηματολογίου, η εφαρμογή του σε μαθητές Γ΄ Λυκείου καθώς και τα ευρήματα.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** λεπτομερώς παρουσιάζεται το 2^{ο} στάδιο της έρευνας. Περιγράφεται η δόμηση της Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας, παρουσιάζονται τα σχέδια μαθήματος και τα φύλλα εργασίας. Τέλος, γίνεται αναφορά στα ευρήματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της προτεινόμενης σειράς μαθημάτων σε μαθητές της Α΄ Λυκείου.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται η συνολική παρουσίαση και συζήτηση των αποτελεσμάτων της έρευνας και διατυπώνονται τα συμπεράσματα από αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η μέτρηση στην επιστήμη και την εκπαίδευση

1.1 Η μέτρηση στην επιστήμη

1.2 Η μέτρηση στην εκπαίδευση

1.1 Η μέτρηση στην επιστήμη

1.1.1 Ιστορία των μετρήσεων

Η πρόοδος στην επιστήμη των μετρήσεων είναι αλληλένδετη με την πρόοδο του ανθρώπου σε όλες τις πτυχές της ιστορίας του. Από τους πρώτους αιώνες, ο άνθρωπος ανακάλυψε ότι οι μετρήσεις του για να έχουν νόημα θα πρέπει να είναι κοινώς αποδεκτές.

Ακόμα και στα πιο παλιά συστήματα μέτρησης επικρατούσε η χρήση των μελών του ανθρώπινου σώματος για μονάδες μήκους. Το ανθρώπινο σώμα αποτέλεσε την πηγή των πρώτων συστημάτων μέτρησης και οι μονάδες που εμφανίζονται ονομάζονται ανθρωπομορφικές μονάδες (Δούκας 2007). Ονομασίες όπως δάχτυλο, πιθαμή, βραχίων, πήχη, οργιά, πόδι επικρατούσαν σε όλη την Ευρώπη. Βέβαια από περιοχή σε περιοχή η αξία της κάθε μονάδας διέφερε ανεξάρτητα που η ονομασία παρέμενε η ίδια (Βενιέρη 1992). Από τα αρχαιότερα πρότυπα μήκους είναι το πόδι ενός αγάλματος στη Μεσοποταμία το 4000π.Χ και το 2575π.Χ ο αιγυπτιακός πήχης του Φαραώ (Δούκας 2007).

Στην αρχαία Ελλάδα οι πρώτες ανάγκες που έκαναν τον άνθρωπο να εισάγει στη ζωή του την έννοια της μέτρησης πήγαζαν από τη καθημερινότητα του. Η ανταλλαγή προϊόντων, η απόσταση, ο χρόνος, η έκταση της γης ήταν μερικά από τα προβλήματα που αντιμετώπιζε. Οι εμπορικές συναλλαγές βασίζονταν στην απλή ανταλλαγή προϊόντων με αποτέλεσμα όλα να έχουν την ίδια αξία. Τη λύση στο πρόβλημα έδωσε η εφεύρεση της ζυγαριάς με αποτέλεσμα οι ανταλλαγές να γίνονται μεταξύ εμπορευμάτων του ίδιου βάρους. Αυτό επιτυγχάνονταν με τα σταθμά, βαρίδια ή ζύγια με τα οποία αντιστάθμιζαν ίσου βάρους αντικείμενα. Το σταθμητικό σύστημα του κάθε λαού ή πόλης-κράτους καθόριζε το βάρος των σταθμών. Στην αρχαία Ελλάδα το τάλαντο χρησιμοποιούνταν ως η μονάδα μέτρησης της μάζας, ενώ οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν τη Libra. Επίσης μετρικό σύστημα αποτελούσε και το επάγγελμα του ανθρώπου. Για παράδειγμα στην Ελλάδα χρησιμοποιούνταν ο όρος «ζευγαριά» για την επιφάνεια που όργωνε σε μια μέρα ένα ζευγάρι βόδια (Βενιέρη 1992).

Κατά τον $17^{ο}$ αιώνα οι επιστήμονες οι επιστήμονες προσπαθούν να αλλάξουν τη μέχρι τότε μορφή των μονάδων μέτρησης. Θέλουν να βρουν σταθερά φαινόμενα μέσα στη φύση για να μπορέσουν να ορίσουν μονάδες μέτρησης με οικουμενικό χαρακτήρα. Η κατάσταση που επικρατούσε στην Ευρώπη, σε ότι αφορά το σύστημα μέτρησης, ήταν αρκετά περίπλοκη. Οι μονάδες μέτρησης είναι συνδεδεμένες με ένα τόπο, με ένα είδος εμπορεύματος ή με ένα επάγγελμα. Τα κατάλοιπα της φεουδαρχίας στο οικονομικό και πολιτικό επίπεδο ευθύνονταν για αυτή την κατάσταση. Ο τοπικός άρχοντας ή βασιλιάς ήταν αυτός που καθόριζε το σύστημα μέτρησης σε κάθε περιοχή (Βενιέρη 1992).

Οι εντονότερες προσπάθειες για κοινές μονάδες μέτρησης έγιναν με την άνθιση της βιομηχανίας και την πρόοδο της επιστήμης μέσα στους επόμενους αιώνες. Η Γαλλική Επανάσταση και η ιδέα για οικουμενικότητα ήταν το έναυσμα του Μετρικού Συστήματος του οποίου οι μονάδες βασίζονταν στους νόμους της φύσης. Αρχικά η πρόταση για μονάδα μήκους ήταν το εκκρεμές που μετράει το sec. Κατά τη Γαλλική επανάσταση, το 1799, η Ακαδημία Επιστημών θέσπισε το Μετρικό Σύστημα βασισμένο στη σύμβαση ότι το μέτρο ήταν ίσο με το ένα δεκάκις εκατομμυριοστό της περιμέτρου της γης. Επίσης, καθιερώθηκε η μονάδα μέτρησης μάζας βασισμένη σε γνωστό όγκο νερού. Το kg που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα ήταν 1,000028 dm^3 νερού, αργότερα ορίστηκε το 1lit να είναι ακριβώς $1dm^3$. Έτσι, έγινε και η κατασκευή προτύπων αναφοράς από λευκόχρυσο για το μέτρο και το κιλό (Α.Βενιέρη 1992). Όμως, η υποχρεωτική εφαρμογή του συστήματος επιτυγχάνεται μετά από έξι δεκαετίες. Η Συνθήκη του Μέτρου τελικά υπογράφηκε το 1875 και το 1889 νέα πρότυπα, από κράμα λευκόχρυσου και ιριδίου, κατασκευάστηκαν (Ρόμπινσον 2007). Το 1959 έγινε η πλήρης καθιέρωση του μετρικού συστήματος στην Ελλάδα και αντικαταστάθηκε η μονάδα «οκά» από το χιλιόγραμμο κιλό (Δούκας 2007).

1.1.2 Η κατάσταση σήμερα

Οι περισσότερες χώρες του κόσμου έχουν υιοθετήσει σήμερα το διεθνές σύστημα μονάδων S.I. το οποίο έχει αντικαταστήσει το προγενέστερο Μετρικό Σύστημα.

Το 1960 κατασκευάστηκε το 1ο λέιζερ και μέσα στα επόμενα χρόνια ως πρότυπα μήκους χρησιμοποιήθηκαν λέιζερ. Το μήκος που ισούται με 1.650.763,73 μήκη κύματος στο κενό της ακτινοβολίας του ατόμου του κρυπτού 86, ορίστηκε ως μέτρο. Μετά από μια εικοσαετία περίπου, το 1983, το μέτρο ορίστηκε ως το μήκος που διανύει το φως στο κενό σε χρόνο 1/299792458 του sec (Βενιέρη 1992).

Στις 20 Μαΐου 2019 δόθηκε τέλος στη χρήση φυσικών αντικειμένων στον προσδιορισμό των θεμελιωδών μονάδων μέτρησης. Στην 26η Γενική Συνδιάσκεψη Μέτρων και Σταθμών που πραγματοποιήθηκε στις Βερσαλλίες το Νοέμβριο του 2018, ψηφίστηκε από το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (BIPM) ο επαναπροσδιορισμός των θεμελιωδών μονάδων μέτρησης. Οι νέοι ορισμοί των μονάδων μέτρησης βασίζονται στις τιμές των παγκόσμιων φυσικών σταθερών. Βάση του νέου ορισμού του χιλιόγραμμου (kg) αποτελούν πλέον οι τρεις θεμελιώδεις φυσικές σταθερές: η σταθερά του Planck, η ταχύτητα του φωτός και ο συντονισμός ενεργειακής μετάβασης στο άτομο του καισίου όταν απορροφά συγκεκριμένη συχνότητα ακτινοβολίας. Ο φυσικός Wolfgang Ketterle προσδιόρισε ότι το ένα χιλιόγραμμο ισούται με τη μάζα $1{,}4755214 \cdot 10^{40}$ φωτονίων συχνότητας 9192631770 Hz. Τέλος έγινε ο επαναπροσδιορισμός άλλων τριών φυσικών μεγεθών: το Ampere (A) βασίζεται πλέον στο στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο e, ο βαθμός της κλίμακας Kelvin βασίζεται στη σταθερά του Boltzmann (k) και το γραμμομόριο στην σταθερά του Avogadro (NA) (Chandler 2019).
«Ο επαναπροσδιορισμός του Διεθνούς Συστήματος (SI) αποτελεί ορόσημο στην επιστημονική πρόοδο» δήλωσε ο διευθυντής του BIPM, Martin Milton. «Χρησιμοποιώντας τις θεμελιώδεις σταθερές της φύσης ως θεμέλια σημαντικών εννοιών, όπως η μάζα και ο χρόνος, σημαίνει πως διαθέτουμε ένα σταθερό υπόβαθρο πάνω στο οποίο προάγουμε την επιστημονική μας κατανόηση, αναπτύσσουμε νέες τεχνολογίες και αντιμετωπίζουμε μερικές από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της κοινωνίας μας» (https://physicsgg.me/2018/11/16/ψηφίστηκε-η-αναθεώρηση-του-διεθνούς-σ/).

Η κατάσταση που επικρατεί σήμερα στην καθημερινότητα του ανθρώπου απαιτεί τη μέτρηση σε κάθε τομέα της ζωής του. Η ανάπτυξη της βιομηχανίας, με σκοπό την παραγωγή νέων βελτιωμένων προϊόντων και την βελτίωση του βιοτικού μας επιπέδου, απαιτεί υψηλή ακρίβεια στη μέτρηση μήκους. Η ανάγκη για τη μέτρηση ξεκίνησε περίπου 900 χρόνια πριν και θα συνεχίσει να αυξάνεται μέσα στην επόμενη χιλιετία.

1.2 Η μέτρηση στην εκπαίδευση

1.2.1 Η μέτρηση ως επιστημονική διαδικασία στην εκπαιδευτική της εκδοχή

Η λήψη μετρήσεων αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές επιστημονικές διαδικασίες. Οι διαδικασίες που εφαρμόζουν οι επιστήμονες στην εργασία τους ονομάζονται επιστημονικές διαδικασίες και θεωρούνται βασικές συνιστώσες του επιστημονικού γραμματισμού (Χαλκιά 2014). Οι μαθητές μέσα από την άσκηση στις επιστημονικές διαδικασίες εφοδιάζονται με δεξιότητες χρήσιμες στην καθημερινότητα τους ακόμα και στη σταδιοδρομία τους. Στα πλαίσια της σχολικής τάξης, η διδασκαλία των Φυσικών επιστημών θα πρέπει να δημιουργεί συνθήκες διερεύνησης ερωτημάτων και επίλυσης προβλημάτων, ώστε οι μαθητές να έρχονται σε επαφή με τις επιστημονικές διαδικασίες.

Τα θεμέλια της επιστήμης αποτελεί η παρατήρηση και είναι η πρώτη στη σειρά επιστημονική διαδικασία, απαραίτητη για να τεθεί σε δράση η επιστημονική σκέψη. Η παρατήρηση όπως η ταξινόμηση και η διατύπωση μαθηματικών σχέσεων αποτελούν σημαντική προϋπόθεση για την επιστημονική διαδικασία της μέτρησης. Οι μαθητές εκτός από τα παραπάνω, εφόδιο για να ασκήσουν τη διαδικασία της μέτρησης πρέπει να έχουν και την ικανότητα αναγνώρισης και ανάγνωσης οργάνων. Σταδιακά και από μικρή ηλικία η δυνατότητα να έρχονται σε τριβή με αυτές τις διαδικασίες θα τους καταστήσει ικανούς να δομήσουν έναν επιστημονικό τρόπο σκέψης. Σημαντικό επίσης είναι να εξοικειωθούν με τις μονάδες μέτρησης των φυσικών μεγεθών καθώς μια μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους συνοδεύεται πάντα από τη μονάδα μέτρησης του. Το σφάλμα που ακολουθεί πάντα μια μέτρηση ακόμα και όταν αυτή προέρχεται από ένα «επιστημονικό όργανο» είναι αναπόσπαστο κομμάτι της και αναγκαία είναι η συμφιλίωση των μαθητών με την θεωρία γύρω από τα σφάλματα. Τέλος, η επανάληψη μιας μέτρησης με σκοπό την επαλήθευση και τη διασταύρωση δεδομένων δεν πρέπει να λείπει από τη διαδικασία καθώς έτσι ένα περίεργο αποτέλεσμα ή μια μη σωστή μέτρηση γίνονται αντιληπτά (Χαλκιά 2014). Από έρευνα σε μαθητές Δημοτικού αναδεικνύεται πως οι μαθητές που έχουν εξοικείωση με την διαδικασία της μέτρησης έχουν αντιλήψεις ορθότερες σε έννοιες της φυσικής συγκριτικά με μαθητές που δεν κατέχουν ανάλογη εξοικείωση (Κώτσης 2007). Έτσι, πάνω στις ικανότητες που αποκτούν οι μαθητές με την άσκηση και εξοικείωση στις παραπάνω αναφερόμενες επιστημονικές διαδικασίες θα είναι σε θέση να ασκηθούν και στις υπόλοιπες επιστημονικές διαδικασίες: Οικοδόμηση χωροχρονικών σχέσεων, Επικοινωνία, Διατύπωση προβλέψεων, Εξαγωγή συμπερασμάτων, Διατύπωση λειτουργικών ορισμών, Διατύπωση υποθέσεων, Ερμηνεία δεδομένων, Αναγνώριση και έλεγχος μεταβλητών, Διεξαγωγή πειραμάτων (UNESCO 1994).

1.2.2 Οι ιδέες των μαθητών για τη «μέτρηση»

Η ανάγκη των μαθητών από μικρή ηλικία να ερμηνεύσουν ότι υπάρχει γύρω τους, τους οδηγεί στη δημιουργία των λεγόμενων «εναλλακτικών ιδεών». Αυτές οι ιδέες είναι νοητικές κατασκευές που τους βοηθούν στην εξήγηση φυσικών φαινομένων και εννοιών. Δεν είναι αυθαίρετες κατασκευές αλλά ενσωματώνονται σε εννοιολογικές δομές που παρέχουν μια λογική και συνεπή κατανόηση του κόσμου από τη μεριά τους (Osborne & Gilbert 1980). Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών βασίζονται κυρίως σε προσωπικές εμπειρίες και σε ικανοποιητικό βαθμό με αυτές μπορούν να ερμηνεύσουν την πραγματικότητα. Οι αιτίες για το σχηματισμό των εναλλακτικών ιδεών ποικίλουν. Χρησιμοποιώντας τα αισθητήρια όργανά τους για την κατανόηση των ερεθισμάτων που δέχονται από το περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ατελούς εικόνας του φυσικού κόσμου. Η κοινή λογική σε συνδυασμό με τις προϋπάρχουσες γνώσεις καθιστούν την ερμηνεία ενός φαινομένου εσφαλμένη καθώς είναι προϊόν συλλογισμών μη ολοκληρωμένων (Χαλκιά 2014). Ακόμα και όταν μέσα από τη διδασκαλία οι μαθητές γνωρίζουν τις επιστημονικές ιδέες και επιτυχώς τις εφαρμόζουν σε προβλήματα εξετάσεων αδυνατούν να τις κάνουν πράξη στη καθημερινή τους ζωή. Για την διδακτική αντιμετώπιση της σύγκρουσης αυτής μεταξύ εναλλακτικών και επιστημονικών ιδεών απαραίτητη είναι η εφαρμογή ενός τύπου διδασκαλίας που θα λαμβάνει υπόψη τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και θα τους φέρνει ταυτόχρονα σε επαφή με τις επιστημονικές μεθόδους και διαδικασίες (Κώτσης 2007). Μια σύγχρονη διδασκαλία φυσικής θα πρέπει να δίνει έμφαση στο ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών έτσι ώστε να γίνει πιο αποτελεσματική η εφαρμογή μιας εννοιολογικής διδακτικής προσέγγισης. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι οι μαθητές όταν μπαίνουν στη σχολική τάξη έχουν ήδη διαμορφώσει κάποιες απόψεις για τον φυσικό κόσμο και δεν πρέπει να θεωρείται ότι δεν γνωρίζουν τίποτα. Όμως ταυτόχρονα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ότι αυτές οι αντιλήψεις που έχουν υιοθετήσει είναι λανθάνουσες, μη συνειδητές, συγχέονται συχνά με άλλες έννοιες και δεν είναι διατεθειμένοι να τις εγκαταλείψουν εύκολα (Χαλκιά 2014). Οπότε η στρατηγική που θα ακολουθηθεί για την αντικατάστασή των εναλλακτικών ιδεών από ορθές επιστημονικές ιδέες περιλαμβάνει την ανακάλυψη των παρανοήσεων των μαθητών μέσα από ερωτήσεις, την ανάδειξη των αντιφάσεων που υπάρχουν στις παρανοήσεις των μαθητών, την διεξαγωγή πειραμάτων για την επιστημονική διαπίστωση ενός νόμο, θεωρίας, έννοιας ή φαινομένου (Driver 1989).

Οι εναλλακτικές ιδέες και αντιλήψεις των μαθητών καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εννοιών των φυσικών επιστημών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα για τη δύναμη και την κίνηση είναι ότι όταν ένα σώμα ηρεμεί δεν ασκούνται πάνω του δυνάμεις ή ότι ένα κινούμενο αντικείμενο έχει μια δύναμη μέσα του που το κρατάει σε κίνηση. Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ταύτιση της μάζας και του βάρους καθώς και ότι τα αέρια δεν έχουν βάρος. Πολλά είναι τα παραδείγματα σε κάθε διαφορετικό κεφάλαιο της φυσικής. Αντίστοιχα και στις μετρήσεις φυσικών μεγεθών επικρατούν διάφορες ιδέες μαθητών μη επιστημονικά ορθές.

Οι μαθητές θεωρούν ότι δεν υπάρχει αβεβαιότητα σε επιστημονικά αποτελέσματα και η επιστημονικά σωστή μέτρηση είναι αυτή που δεν συνοδεύεται από καμία αβεβαιότητα. Το ιδανικό για αυτούς είναι να εκτελείται με προσοχή μια μοναδική τέλεια μέτρηση (Allie et al. 2003). Η μια μέτρηση με επιστημονικό όργανο είναι αρκετή καθώς θεωρούν ότι τα επιστημονικά όργανα είναι υψηλής ακρίβειας. Δεν υπάρχει διαχωρισμός των εννοιών σφάλμα-αβεβαιότητα και δεν αναγνωρίζουν τα σφάλματα σαν συστηματικά ή τυχαία (Ευαγγελινός & Βαλασιάδης 1998). Επίσης οι μαθητές όταν έχουν να αντιμετωπίσουν πλήθος ποσοτικών δεδομένων προσπαθούν να κάνουν την επιλογή της σωστής τιμής, για παράδειγμα την επαναλαμβανόμενη τιμή, από τις τιμές του συνόλου. Συχνά ο όρος λάθος είναι παραπλανητικός για τους μαθητές καθώς κατηγοριοποιούν τα πειραματικά αποτελέσματα σε αληθή και μη υποστηρίζοντας ότι κάθε πείραμα έχει ένα προκαθορισμένο σωστό αποτέλεσμα και οι δικές τους μετρήσεις μπορεί να είναι λάθος. Έτσι πολύ συχνά τα μη αναμενόμενα αποτελέσματα τα συνοδεύουν με τη φράση «λόγω ανθρώπινου λάθους» (Allie et al. 2003). Τέλος, οι μαθητές συγχέουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τα συμπεράσματα και δεν τα διαφοροποιούν (Ευαγγελινός & Βαλασιάδης 1998). Η προσοχή των μαθητών στρέφεται στην αξιοπιστία του συμπεράσματος και δεν ελέγχουν την ποιότητα της σχέσης μεταξύ αποδεικτικών στοιχείων και συμπερασμάτων (Lubben & Millar 1996).

Επιστημονικά άρθρα και έρευνες πάνω στη διαδικασία της μέτρησης που εστιάζουν στις ιδέες των σπουδαστών-μαθητών μελετήθηκαν και παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η πλειοψηφία των μελετών που έχουν γίνει επικεντρώνονται στη τριτοβάθμια εκπαίδευση και σε φοιτητές των Φυσικών Επιστημών καθώς τότε οι πρωτοετείς φοιτητές έρχονται σε συστηματικότερη επαφή με το εκπαιδευτικό και επιστημονικό εργαστηριακό χώρο. Η σωστή δόμηση των εργαστηριακών μαθημάτων είναι μία από της κύριες παραμέτρους για την καρποφόρα αλληλεπίδραση των μαθητών με την διαδικασία της μέτρησης. Η αναγκαιότητα για εποικοδομητικά εργαστηριακά μαθήματα δεν περιορίζεται μόνο στο πλαίσιο του πανεπιστημίου, μπορεί να αποφέρει θετικά αποτελέσματα και στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η έρευνα των Buffer, Allie & Lubben 2001, για τη διαδικασία της μέτρησης μέσα από παραδείγματα σε πρωτοετείς φοιτητές Φυσικής, αναδεικνύει την αναγκαιότητα της δημιουργίας εργαστηριακών μαθημάτων που να προάγουν τη συλλογιστική σκέψη των μαθητών αλλά και τα λειτουργικά εργαλεία για την ανάλυση δεδομένων. Οι φοιτητές φαίνεται να μπορούν να χειριστούν τα εργαλεία για την επεξεργασία των μετρήσεων και την ανάλυση των δεδομένων, ταυτόχρονα όμως υστερούν στην κατανόηση των βαθύτερων λόγων αυτών των διαδικασιών. Καθώς η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε πρωτοετείς φοιτητές, αναδεικνύεται επίσης αυτό που προαναφέραμε, η πιο ουσιαστική εφαρμογή εργαστηριακών μαθημάτων στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

1.2.3 *Η «μέτρηση» στο πρόγραμμα σπουδών της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση*

Συμφώνα με το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής, για το σχολικό έτος 2019-2020, παρακάτω παρουσιάζονται οι εντός ύλης πειραματικές δραστηριότητες στο μάθημα της Φυσικής σε Γυμνάσιο και Λύκειο.

Α’ τάξη ημερήσιου και εσπερινού Γυμνασίου

Στην Α’ Γυμνασίου σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση δύο διδακτικών βιβλίων:

Η Φυσική με πειράματα, Α΄ Γυμνασίου των Γ.Θ. Καλκάνη, Ο. Γκικοπούλου, κ.ά. Φυσική Β΄ Γυμνασίου, Εργαστηριακός οδηγός των Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδη, κ.ά.

Όλα τα κεφάλαια τα οποία είναι εντός ύλης προσεγγίζουν πειραματικά φαινόμενα και έννοιες της Φυσικής μέσα από μετρήσεις και συμπλήρωση φύλλων εργασίας. Τα κεφάλαια που διδάσκεται ένας μαθητής της Α’ Γυμνασίου είναι τα εξής:

1. Μετρήσεις μήκους – η Μέση Τιμή
2. Μετρήσεις Χρόνου – Η Ακρίβεια
3. Μετρήσεις μάζας – Τα διαγράμματα
4. Μέτρηση όγκου (Φυσική Β΄ Γυμνασίου, Εργαστηριακός οδηγός)
5. Μέτρηση Πυκνότητας (Φυσική Β΄ Γυμνασίου, Εργαστηριακός οδηγός)
6. Μετρήσεις Θερμοκρασίας – Η Βαθμονόμηση
7. Από τη Θερμότητα στη Θερμοκρασία – Η Θερμική Ισορροπία
8. Το Ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα – Κίνδυνοι και «Ασφάλεια»
9. Από τον Ηλεκτρισμό στον Μαγνητισμό - Ένας Ηλεκτρικός (ιδιο-) Κινητήρας
10. Από το Μαγνητισμό στον Ηλεκτρισμό – Μια Ηλεκτρική (ιδιο-) Γεννήτρια

Ολοκληρώνοντας ένας μαθητής την Α’ Γυμνασίου έχει έρθει σε επαφή με πειραματική διαδικασία στη φυσική, με πραγματοποίηση μετρήσεων φυσικών μεγεθών και με σύντομη επεξεργασία αυτών.

<u>Β’ τάξη ημερήσιου Γυμνασίου</u>

Στην Β’ Γυμνασίου σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση δύο διδακτικών βιβλίων:

Φυσική Β΄ Γυμνασίου, των Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδη, κ.ά.

Φυσική Β΄ Γυμνασίου, Εργαστηριακός οδηγός (νέο) των Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδη, κ.ά.

Το πλήθος των εργαστηριακών ασκήσεων της Β’ Γυμνασίου είναι οι εξής 5 ασκήσεις: «Μελέτη των ευθύγραμμων κινήσεων», «Σύνθεση δυνάμεων», «Μέτρηση Δύναμης- Νόμος του Hooke», «Άνωση- Αρχή του Αρχιμήδη», «Άνωση και βάρος του υγρού που εκτοπίζει το σώμα- Η Αρχή του Αρχιμήδη». Ένας μαθητής που έχει ολοκληρώσει τη Β’ Γυμνασίου έχει έρθει σε επαφή τουλάχιστον με 4 εργαστηριακές ασκήσεις καθώς η άσκηση: «Σύνθεση δυνάμεων» συμφώνα με το πρόγραμμα σπουδών είναι προαιρετική.

(Παρατίθεται εκ νέου πρόγραμμα σπουδών για τη Β’ τάξη εσπερινού Γυμνασίου και γίνεται αναφορά για προαιρετική πραγματοποίηση δύο εργαστηριακών ασκήσεων)

<u>Γ’ τάξη ημερήσιου και εσπερινού Γυμνασίου</u>

Στην Γ’ Γυμνασίου σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση τριών διδακτικών βιβλίων:

Φυσική Γ΄ Γυμνασίου, των Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδη, κ.ά.

Φυσική Γ΄ Γυμνασίου, Εργαστηριακός οδηγός, των Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδη, κ.ά.

Φυσική Γ΄ Γυμνασίου, Τετράδιο Εργασιών, των Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδη, κ.ά.

Σύμφωνα με την ύλη της Γ’ Γυμνασίου οι εργαστηριακές ασκήσεις που διεξάγονται είναι 8 στο σύνολο τους: «Ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις», «Ν. Ohm», «Σύνδεση αντιστατών σε σειρά» «Παράλληλη σύνδεση αντιστατών», «Διακοπή και βραχυκύκλωμα», «Πειραματικός έλεγχος των νόμων του απλού εκκρεμούς», «Διάθλαση», «Συγκλίνοντες φακοί».

<u>Α’ τάξη ημερήσιου και εσπερινού Λυκείου</u>

Στην Α’ Λυκείου σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση τριών διδακτικών βιβλίων:

Φυσική Α΄ Γενικού Λυκείου- Γενικής παιδείας- Βιβλίο Μαθητή, Βλάχος Ι. κ.ά Φυσική Α΄ Γενικού Λυκείου- Γενικής παιδείας- Εργαστηριακός Οδηγός, Βλάχος Ι. κ.ά Φυσική Α΄ Γενικού Λυκείου- Γενικής παιδείας- Τετράδιο Εργαστηριακών Ασκήσεων, Βλάχος Ι. κ.ά

Στην Α’ Λυκείου το σύνολο των εργαστηριακών ασκήσεων που είναι εντός ύλης είναι 2: «Μελέτη ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης», «Μελέτη και έλεγχος της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας στην ελεύθερη πτώση». Επίσης γίνεται αναφορά για χρήση του εργαστηριακού οδηγού στα εξής κεφάλαια: Αβεβαιότητα (σφάλμα) μέτρησης, Σημαντικά ψηφία - Στρογγυλοποίηση, Γραφικές παραστάσεις. Προτείνεται επίσης η ανάθεση ατομικής εργασίας με σκοπό την επεξεργασία μετρήσεων (επεξεργασία πίνακα πειραματικών τιμών θέσης-χρόνου σε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση)

<u>Β’ τάξη ημερήσιου και εσπερινού Λυκείου</u>

(Φυσική Γενικής Παιδείας)

Στην Β’ Λυκείου Γενικής Παιδείας σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση τριών διδακτικών βιβλίων:

Φυσική Β΄ Γενικού Λυκείου - Γενικής παιδείας - Βιβλίο Μαθητή, Αλεξάκης Ν. κ.ά
Φυσική Β΄ Γενικού Λυκείου - Γενικής παιδείας - Εργαστηριακός Οδηγός, Κοψιαύτης Π. κ.ά
Φυσική Β΄ Γενικού Λυκείου - Γενικής παιδείας -Τετράδιο Εργαστηριακών ασκήσεων, Κοψιαύτης Π. κ.ά

Στη Β' λυκείου στη Φυσική Γενικής Παιδείας εντός ύλης είναι 3 εργαστηριακές ασκήσεις: «Ενεργειακή μελέτη των στοιχείων απλού ηλεκτρικού κυκλώματος με πηγή και ωμικό καταναλωτή (εκτός του κινητήρα)», «Μελέτη της χαρακτηριστικής καμπύλης ηλεκτρικής πηγής και ωμικού καταναλωτή (εκτός της κρυσταλλοδιόδου)», «Παρατήρηση συνεχών- γραμμικών φασμάτων». Επίσης προτείνονται και πειραματικές δραστηριότητες:

- ✓ Οι μαθητές να πειραματιστούν στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής με πηνίο και μαγνήτη 20 και να επιδειχτεί η γεννήτρια του εργαστηρίου
- ✓ Οι μαθητές να εμπλακούν σε πειράματα εκτροπής μαγνητικής βελόνας λόγω ηλεκτρικού ρεύματος και να κατασκευάσουν ηλεκτρομαγνήτη
- ✓ Να γίνει εξοικείωση των μαθητών με τη χρήση των πολύμετρων (χρήση ως αμπερόμετρα και ως βολτόμετρα)
- ✓ Οι μαθητές θα κατασκευάσουν κατάλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα για να διαπιστώσουν τη διαφορά λαμπτήρα πυράκτωσης και LED (ο λαμπτήρας πυράκτωσης άγει ανεξαρτήτως πολικότητας σύνδεσης σε αντίθεση με τη LED)
- ✓ Η πραγματοποίηση πειραμάτων επίδειξης των φαινομένων ανάκλασης και διάθλασης.

(Φυσική Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Επιστημών)

Στην Β' Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Επιστημών σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση τριών διδακτικών βιβλίων:

Φυσική Β΄ Γενικού Λυκείου - Ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών - Βιβλίο Μαθητή, Βλάχος Ι. κ.ά
Φυσική Β΄ Γενικού Λυκείου - Ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών - Εργαστηριακός Οδηγός, Ιωάννου Α. κ.ά
Φυσική Β΄ Γενικού Λυκείου - Ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών - Τετράδιο Εργαστηριακών Ασκήσεων , Ιωάννου Α. κ.ά

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών το πλήθος των εργαστηριακών ασκήσεων στη Β' Λυκείου ομάδας προσανατολισμού θετικών σπουδών είναι 3: «Διατήρηση της ορμής σε μια έκρηξη», «Πειραματική επιβεβαίωση του γενικού νόμου των ιδανικών αερίων», «Γνωριμία με τον παλμογράφο».

<u>Γ' τάξη ημερήσιου και Γ' και Δ' τάξεων εσπερινού Λυκείου</u>

Στην Γ' Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Επιστημών σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών γίνεται χρήση των διδακτικών βιβλίων:

Φυσική-Τεύχος Α', Αλεξάκη Ν. κ.ά
Φυσική-Τεύχος Β', Ιωάννου Α. κ.ά
Φυσική-Τεύχος Γ', Ιωάννου Α. κ.ά
Εργαστηριακός οδηγός Φυσικής, Ιωάννου Α. κ.ά
Τετράδιο εργαστηριακών ασκήσεων Φυσικής, Ιωάννου Α. κ.ά

Σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών εντός ύλης είναι 9 εργαστηριακές ασκήσεις: «Επίδειξη μαγνητικών πεδίων ραβδόμορφου και πεταλοειδούς μαγνήτη με ρινίσματα σιδήρου σε γυάλινη πλάκα», «Επίδειξη του φαινομένου της επαγωγής με πηνία, μαγνήτες και πυρήνες», «Μέτρηση του πλάτους εναλλασσόμενης τάσης με παλμογράφο», «Μέτρηση άγνωστης συχνότητας εναλλασσόμενης τάσης στον παλμογράφο (σύνθεση ταλαντώσεων)», «Απλή επίδειξη ροής σε βρύση», «Προσδιορισμός της ροπής αδράνειας κυλίνδρου που κυλίεται σε πλάγιο επίπεδο», «Έλεγχος (επιβεβαίωση) της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας με ανακύκλωση», «Μελέτη της ελαστικής και μη ελαστικής κρούσης», «Προσομοίωση κίνησης πυραύλου ή απλό πείραμα».

Συγκεντρωτικά στοιχεία

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω αναφερόμενες οδηγίες αναφέρονται σε όλη την έκταση της ύλης, η οποία όμως κατά περίπτωση μπορεί να διδαχθεί κατά ένα ποσοστό. Συνεπώς, τα στοιχεία που παρατίθενται αφορούν την ιδανική περίπτωση διδασκαλίας όλης της ύλης και τήρησης κατά γράμμα των οδηγιών. Τα ποσοτικά στοιχεία σχετικά με τις εργαστηριακές ασκήσεις και τη διαδικασία μετρήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Συμπερασματικά, σε ιδανικές συνθήκες τήρησης της ύλης και των οδηγιών του ΙΕΠ, στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο οι μαθητές έρχονται σε επαφή με 40 εργαστηριακές ασκήσεις και πειράματα. Οι 8 ασκήσεις από το συνολικό πλήθος των εργαστηριακών ασκήσεων είναι επίδειξης/παρατήρησης στις οποίες οι μαθητές έρχονται σε επαφή με κάποιο φυσικό φαινόμενο και γνωρίζουν πειραματικές διατάξεις. Οι 7 ασκήσεις από τις 40 απαιτούν μόνο τη συλλογή μετρήσεων από τους μαθητές, καταγραφή των αριθμητικών τιμών όπως αυτές αναγράφονται σε αναλογικά ή ψηφιακά όργανα. Τέλος, 25 ασκήσεις αφορούν την επεξεργασία μετρήσεων η οποία περιλαμβάνει τον υπολογισμό μεγεθών, την εύρεση της μέσης τιμής και τον σχεδιασμό γραφικής παράστασης ανάλογα με τη φύση της άσκησης.

Πίνακας 1

Συγκεντρωτικά στοιχεία για τον πειραματισμό στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Τάξεις	**Συνολικός αριθμός πειραμάτων**	**Πειράματα επίδειξης / παρατήρησης**	**Συλλογή μετρήσεων**	**Επεξεργασία μετρήσεων**
Α΄ Γυμνασίου	10	3	1	6
Β΄ Γυμνασίου	5	0	1	4
Γ΄ Γυμνασίου	8	1	3	4
Α΄ Λυκείου	2	0	0	2
Β΄ Λυκείου γενικής παιδείας	3	0	1	2
Β΄ Λυκείου προσανατολισμού θετικών επιστημών	3	1	0	2
Γ΄ Λυκείου προσανατολισμού θετικών επιστημών	9	3	1	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Περιγραφή της έρευνας

2.1 Το σκεπτικό και ο σκοπός της έρευνας

2.2 Η μεθοδολογία

2.1 Το σκεπτικό και ο σκοπός της έρευνας

Βασικό στόχο μιας σύγχρονης διδασκαλίας φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση θα πρέπει να αποτελεί όχι μόνο η διδασκαλία νόμων και αρχών της φυσικής αλλά και θεμάτων που σχετίζονται με τη φύση της και συνακόλουθα η εξοικείωση των μαθητών με τις αντίστοιχες επιστημονικές διαδικασίες (Hodson 1996). Η εξοικείωση των μαθητών με τις επιστημονικές διαδικασίες συμβάλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων σε ερευνητικό επίπεδο αλλά βοηθά και στην απόκτηση δεξιοτήτων στις καθημερινές δραστηριότητές τους. Βασικές επιστημονικές διαδικασίες αποτελούν η λήψη μετρήσεων και η επεξεργασία των αντίστοιχων δεδομένων (Κόκκοτας 2002). Διαδικασίες που η εφαρμογή τους εμφανίζεται και σε απλά προβλήματα που οι μαθητές καλούνται να επιλύσουν στην καθημερινή τους ζωή. Οι μαθητές του Λυκείου, όπως άλλωστε και τα αναλυτικά προγράμματα προβλέπουν, θα πρέπει να εκτελούν πειραματικές διαδικασίες να εκτελούν μετρήσεις και να βγάζουν συμπεράσματα. Η βασική εξοικείωση των μαθητών του Λυκείου με έννοιες και διαδικασίες που σχετίζονται με τη μέτρηση γίνονται στο ξεκίνημα της Α΄ Λυκείου ώστε να είναι σε θέση στη συνέχεια να εκτελούν τις προβλεπόμενες πειραματικές διαδικασίες. Η ιδέα για την υλοποίηση της έρευνας δόθηκε από την παρατήρηση της δυσκολίας που αντιμετωπίζουν αρκετοί πρωτοετείς φοιτητές σχετικά με την εκτέλεση μετρήσεων όσο και με την επεξεργασία των δεδομένων από αυτές, όχι μόνο στο πλαίσιο του εργαστηρίου της Φυσικής στη σχολή ΕΜΦΕ του ΕΜΠ αλλά και γενικότερα όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία (Ευαγγελινός & Βαλασιάδης 1998, Buffler et al. 2001, Evangelinos et al. 2002, Lubben & Millar 1996, Volkwyn et al. 2008, Heinicke & Heering 2012, Lubben et al. 2001, Allie et al. 2003).

Βασιζόμενοι στα προηγούμενα θεωρήσαμε ότι θα είχε εκπαιδευτική αξία στο πλαίσιο μιας διπλωματικής εργασίας να δομηθεί, να εφαρμοστεί και να αξιολογηθεί, τουλάχιστον σε ένα πρώτο στάδιο, μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (ΔΜΑ) (Psillos et al. 2004) λίγων διδακτικών ωρών με σκοπό την εξοικείωση των μαθητών της Α΄ Λυκείου με βασικές έννοιες και διαδικασίες σχετικές με την μέτρηση φυσικών μεγεθών. Αυτό αποτέλεσε και το βασικό σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Εκτός από τη διερεύνηση των απόψεων των μαθητών της Α΄ Λυκείου για έννοιες σχετικά με την μέτρηση, στους οποίους θα εφαρμοστεί η ΔΜΑ, θεωρήθηκε σκόπιμο να διερευνηθούν και οι απόψεις ενός μεγαλύτερου πλήθους μαθητών της Γ΄ Λυκείου μέσω ερωτηματολογίου, προκειμένου να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα που θα φωτίσουν κάποια σημεία στα οποία θα πρέπει να εστιάσει η προτεινόμενη ΔΜΑ.

2.2 Η μεθοδολογία

Για την διεξαγωγή της έρευνας καθώς και τη δόμηση του ερωτηματολογίου και των φύλλων εργασίας

- έγινε η σχετική μελέτη επιστημονικών κειμένων για τις ιδέες των μαθητών πάνω στη μέτρηση (Ευαγγελινός & Βαλασιάδης 1998, Allie et al. 2003) καθώς και πειραματικών οδηγών (Αναστασάκης κ.α. 2010, Βαλασιάδης κ.α. 2012, Δρης 2015, Ramsey & Ellison 2007, Bell 2001).

- ελήφθη υπόψη η ύλη της φυσικής για το Λύκειο, όπως αυτή προτείνεται να διδαχθεί, από το Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων και

- μελετήθηκαν οι σχολικοί εργαστηριακοί οδηγοί Γυμνασίου και Λυκείου ως προς το περιεχόμενό τους, όπως παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3.

Ακολούθησε ο διδακτικός μετασχηματισμός, που ομοίως παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3, έτσι ώστε οι επιστημονικές έννοιες και οι απαιτούμενοι μαθηματικοί τύποι να συμβαδίζουν με το μαθησιακό σχολικό επίπεδο. Επιστήσαμε τη προσοχή μας στο να δομήσουμε τα φύλλα εργασίας και το ερωτηματολόγιο με σωστή κλιμάκωση των εννοιών και δυσκολίας ώστε να ανταποκρίνεται η παρούσα έρευνα και σε μια πρόταση διδασκαλίας των εννοιών της μέτρησης και της αβεβαιότητάς της.

Η διεξαγωγή της έρευνας πραγματοποιήθηκε σε δύο σκέλη:

- Το πρώτο περιείχε τη δόμηση, τη συμπλήρωση και την ανάλυση των δεδομένων του ερωτηματολογίου που δόθηκε στους μαθητές της Γ΄ Λυκείου

- Το δεύτερο περιλαμβάνει τη δόμηση, την εφαρμογή και την αξιολόγηση της ΔΜΑ σε μαθητές της Α΄ Λυκείου και τη δημιουργία των αντίστοιχων φύλλων εργασίας.

Αυτός ο διαχωρισμός δεν βοήθησε μόνο στην δόμηση της ΔΜΑ αλλά βοήθησε και στην ορθότερη και πιο σαφή παρουσίαση των συμπερασμάτων. Με αυτό τον τρόπο έχουμε και εικόνα για τις απόψεις των μαθητών, σχετικά με έννοιες και διαδικασίες που σχετίζονται με τη μέτρηση φυσικών μεγεθών, τόσο αυτών που αποφοιτούν από το Λύκειο καθώς και αυτών που έχουν ολοκληρώσει τη φοίτηση τους στο Γυμνάσιο.

Τα φύλλα εργασίας και το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές πριν αποκτήσουν την τελική τους μορφή εφαρμόστηκαν πιλοτικά σε μια ομάδα 2 μαθητών της Α΄ Λυκείου και αντίστοιχα σε δύο μαθητές της Γ΄ Λυκείου. Στόχος ήταν ο έλεγχος της λειτουργικότητας καθώς και κατά πόσο είναι κατανοητά από τους μαθητές τα φύλλα εργασίας και το ερωτηματολόγιο. Επίσης, ελέγχθηκε η έκταση και η χρονική διάρκεια που απαιτούσε η διαδικασία συμπλήρωσης των φύλλων εργασίας και των ερωτηματολογίων και προσαρμόστηκε ανάλογα με τις διαθέσιμες σχολικές διδακτικές ώρες. Πιο συγκεκριμένα, με την πιλοτική έρευνα εξακριβώσαμε ποιοι από τους όρους γίνονται αντιληπτοί, αν η σειρά των ερωτήσεων προκαλεί σύγχυση και αν η διατύπωση των ερωτήσεων επιτρέπει τη συλλογή των επιθυμητών στοιχείων (Λαγουμιντζής κ.α. 2015). Μετά το πέρας της πιλοτικής εφαρμογής πραγματοποιήθηκε αναδιαμόρφωση των φύλλων εργασίας και του ερωτηματολογίου όπου αυτό ήταν αναγκαίο. Η παρουσίαση των ευρημάτων της πιλοτικής δεν κρίνεται απαραίτητη διότι δεν θα είχε να προσθέσει κάτι στα ευρήματα μετά τις βελτιώσεις που έγιναν και επειδή αυτά συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με τα ευρήματα της κύριας έρευνας.

2.2.1 Το 1ο σκέλος της έρευνας

Το 1ο σκέλος της έρευνας περιελάμβανε τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων από 100 μαθητές της Γ΄ Λυκείου. Το σχολείο με το οποίο έγινε η συνεργασία ανήκει στον Νομό Ευβοίας. Προηγήθηκε η έγκριση από το Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων για τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων από τους μαθητές. Οι μαθητές που συμμετείχαν εθελοντικά στην έρευνα ήταν από όλες της ομάδες προσανατολισμού της Γ΄ Λυκείου. Η χρονική διάρκεια της συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου ήταν δέκα λεπτά και κάθε μαθητής εργάστηκε ατομικά. Η διανομή των ερωτηματολογίων και η συμπλήρωση τους πραγματοποιήθηκε στην αρχή της σχολικής χρονιάς.

Στο 1ο σκέλος της έρευνας η συλλογή δεδομένων έγινε από τις απαντήσεις των μαθητών στα ερωτηματολόγια που τους δόθηκαν. Στη συνέχεια οι απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν, τα ποσοτικά αποτελέσματα και τα ευρήματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.

2.2.2 Το 2ο σκέλος της έρευνας

Για τη διεξαγωγή και αυτού του σκέλους της έρευνας απαραίτητη ήταν η έγκριση της από το Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων καθώς και από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. Σύμφωνα με την έγκριση η κάθε ομάδα μαθητών μπορούσε να απασχοληθεί δύο διδακτικές ώρες. Οι υπόλοιπες τρεις ώρες απασχόλησης της κάθε ομάδας πραγματοποιήθηκαν εκτός ωρολογίου προγράμματος με ευθύνη της ερευνήτριας και τη σύμφωνη γνώμη των γονέων-κηδεμόνων των μαθητών. Έτσι η κάθε ομάδα συμμετείχε στην έρευνα το συνολικό χρονικό διάστημα των πέντε ωρών. Σύμφωνα λοιπόν με την έγκριση και τα χρονικά περιθώρια που τέθηκαν προσαρμόστηκε και η ΔΜΑ. Η περιγραφή της δόμησης της ΔΜΑ, τα σχέδια μαθήματος τα φύλλα εργασίας παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε εφαρμόστηκε η μέθοδος του διδακτικού πειράματος, (teaching experiment Komorek & Duit 2004). Η μέθοδος του διδακτικού πειράματος επιτρέπει τη διερεύνηση διαδικασιών μάθησης σε ομάδες 2-4 μαθητών, δίνει έτσι τη δυνατότητα μελέτης του τρόπου σκέψης των μαθητών και μπορεί να εφαρμοστεί για αξιολόγηση προτεινόμενων διδασκαλιών πριν αυτές διδαχθούν σε επίπεδο ολόκληρης τάξης. Η μέθοδος του διδακτικού πειράματος συνδυάζει στοιχεία διδασκαλίας και συνέντευξης μέσα από συναντήσεις με τους μαθητές, με τον ερευνητή να έχει και ρόλο δασκάλου καθώς χρειάζεται να ερμηνεύει τα εννοιολογικά πλαίσια των μαθητών αλλά να έχει και απαντήσεις πάνω στις απόψεις που διατυπώνουν οι μαθητές κάνοντας διδακτικές παρεμβάσεις την κατάλληλη χρονική στιγμή. Στόχος της μεθόδου είναι οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν τις ιδέες τους και όταν αυτές τους οδηγούν σε αδιέξοδο να δραστηριοποιηθούν για να βρουν εναλλακτικές εξηγήσεις μέσα από συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων με τους υπόλοιπους μαθητές. Ο εκπαιδευτικός-ερευνητής έχει υποστηρικτικό ρόλο στις συζητήσεις μεταξύ των μαθητών και επεμβαίνει όταν αυτές παύουν να είναι καρποφόρες (Velentzas & Halkia 2010). Έρευνες (Katu, Lunetta & van de Berg 1993, Stavrou, Duit & Komorek 2008) αποδεικνύουν ότι η μέθοδος "teaching experiment" δίνει τη δυνατότητα σε μικρό χρονικό διάστημα να γίνονται διερευνητικές μελέτες και να αποτυπώνονται οι ιδέες και οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές σε νέα πεδία (Δημητριάδη 2012). Μέσω της μεθόδου "teaching experiment" διευκολύνεται η μετατόπιση των αντιλήψεων των μαθητών προς την επιστημονική άποψη (Engelhardt et al. 2004).

Στο 2^{ο} σκέλος της έρευνας έλαβαν μέρος εθελοντικά 12 μαθητές της Α΄ Λυκείου και συγκρότησαν τέσσερις ομάδες των τριών μαθητών. Κατά την επιλογή των μαθητών έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί σαν κριτήριο ο βαθμός τους στη Φυσική της Γ΄ Γυμνασίου έτσι ώστε να αποτελέσουν μια ομάδα μεικτών δυνατοτήτων. Η τελική διαμόρφωση των 12 μαθητών αποτελούνταν από 4 αγόρια και 8 κορίτσια. Έτσι στη κάθε μία από τις τέσσερις ομάδες που δημιουργήθηκαν συμμετείχαν από ένα αγόρι και δύο κορίτσια. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά την έναρξη της σχολικής χρονιάς, έχοντας οι μαθητές μόνο τις γνώσεις του γυμνασίου γύρω από τη μέτρηση και τη θεωρία σφαλμάτων. Τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα έρευνα περιλαμβάνουν τη μαγνητοφώνηση των συζητήσεων των ομάδων, σημειώσεις κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, συμπλήρωση των φύλλων εργασίας, συνέντευξη και παρακολούθηση (Παναγάκος 2001). Το σύνολο των διδακτικών ωρών που χρειάστηκαν για τη διεξαγωγή της έρευνας ήταν 20 σχολικές διδακτικές ώρες με διάρκεια 45 λεπτά η κάθε μία. Σε κάθε ομάδα πραγματοποιήθηκαν πέντε διδασκαλίες σύμφωνα με τη μέθοδο του teaching experiment. Σε κάθε διδακτική ώρα η κάθε ομάδα των τριών μαθητών συμπλήρωνε ένα φύλλο εργασίας, συνολικά η κάθε ομάδα συμπλήρωσε 5 φύλλα εργασίας. Όλες οι διδακτικές ώρες απομαγνητοφωνήθηκαν και καταγράφηκαν με μορφή κειμένου. Τα φύλλα εργασίας που συμπληρώθηκαν από τους μαθητές καθώς και οι απομαγνητοφωνήσεις σε μορφή κειμένου αποτέλεσαν τα δεδομένα προς ανάλυση. Εφαρμόστηκε ποιοτικός έλεγχος ανάλυσης των αποτελεσμάτων (Erickson 1998, Mayring 2014) καθώς ο χαρακτήρας της έρευνας είναι διερευνητικός. Τα ευρήματα αυτού του σταδίου της έρευνας παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Το 1ο στάδιο της έρευνας

3.1 Η μελέτη των σχολικών πειραματικών οδηγών

3.2 Το επιστημονικό περιεχόμενο και ο διδακτικός μετασχηματισμός

3.3 Το ερωτηματολόγιο και η δόμησή του

3.4 Η εφαρμογή και τα ευρήματα του 1ου σταδίου της έρευνας

3.1 Η μελέτη των σχολικών πειραματικών οδηγών

Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των εννοιών σχετικά με τη μέτρηση και την αβεβαιότητά της στους σχολικούς εργαστηριακούς οδηγούς. Στην πρώτη φάση της έρευνας μελετήθηκαν οι εργαστηριακοί οδηγοί του Λυκείου ως προς το περιεχόμενό τους σχετικά με τις εισαγωγικές έννοιες σχετικά με τη μέτρηση και την αβεβαιότητά της, προκειμένου αυτό το περιεχόμενο να ληφθεί υπόψη για την δόμηση του ερωτηματολογίου και της Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ). Επίσης, μελετήθηκε και ο εργαστηριακός οδηγός της Γ΄ Γυμνασίου καθώς οι μαθητές τότε έρχονται πρώτη φορά σε επαφή με τη θεωρία σφαλμάτων και κυρίως γιατί η έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μαθητές της Α' Λυκείου, για τη δόμηση της ΔΜΑ, έπρεπε να λάβει υπόψη το υπόβαθρο γνώσεων σύμφωνα με τον εργαστηριακό οδηγό της Γ' Γυμνασίου. Μελετήθηκαν οι παρακάτω πειραματικού οδηγοί:

Αντωνίου Ν., Δημητριάδης Π., Καμπούρης Κ., Παπαμιχάλης Κ., Παπατσίμπα Λ. Φυσική Γ' Γυμνασίου Εργαστηριακός Οδηγός. Ελληνικά γράμματα, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων

Βλάχος Ι.Α., Γραμματικάκης Ι.Γ., Καραπαναγιώτης Β.Α., Κόκκοτας Π.Β., Περιστερόπουλος Π.Εμ., Τιμοθέου Γ.Β. Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Γενικής Παιδείας Α' Τάξης Ενιαίου Λυκείου. Εκπαιδευτικές Τομές Ορόσημο Α.Ε., Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων

Κοψιαύτης Π., Συμεωνίδης Χ. (2010). Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Β' Τάξη Γενικού Λυκείου. Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων

Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ. (2010). Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής κατεύθυνσης Β' Τάξη Γενικού Λυκείου. Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων

Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ. (2010). Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής κατεύθυνσης Γ' Τάξη Γενικού Λυκείου. Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων

Συνοπτικά οι έννοιες που αναφέρονται στους οδηγούς σχετικά με τη μέτρηση και την αβεβαιότητά της παρουσιάζονται στον πινάκα 2.

Πιο αναλυτικά, στον εργαστηριακό οδηγό της **Γ' Γυμνασίου** γίνεται η εισαγωγή στην μέτρηση με παραδείγματα για το πώς μετράμε μήκος και μάζα με τη χρήση χάρακα και ζυγαριάς αντίστοιχα. Δίνεται ο ορισμός: *«Κάθε διαδικασία σύγκρισης δύο ομοειδών μεγεθών ονομάζεται μέτρηση»*, ο οποίος εξηγείται με τα δύο παραδείγματα που προαναφέρθηκαν (αν το πλάτος του βιβλίου που μετρήθηκε είναι 20,92 cm αυτό σημαίνει ότι είναι 20,92 φορές το μήκος του ενός εκατοστού). Η εισαγωγή της έννοιας του σφάλματος στις μετρήσεις των φυσικών μεγεθών γίνεται και αυτή με παράδειγμα μέτρησης του πλάτους του βιβλίου. Τώρα όμως η μέτρηση πραγματοποιείται πολλές φορές από διαφορετικό μαθητή την κάθε φορά με αποτέλεσμα να διαφέρουν οι μετρήσεις. Έτσι διαπιστώνεται το σφάλμα στη μέτρηση, παραθέτονται κάποιοι από τους λόγους που το προκάλεσαν καθώς και πως αυτοί μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Από τη συλλογή των πολλών μετρήσεων των πλατών είναι αναγκαία η εισαγωγή της μέσης τιμής (αναφέρεται στο σχολικό βιβλίο και ως μέσος όρος) για την προσέγγιση τις τιμής του πλάτους με τη μεγαλύτερη ακρίβεια. Η στρογγυλοποίηση πραγματοποιείται έτσι ώστε η μέση τιμή να έχει τα ίδια δεκαδικά ψηφία με της αρχικές μετρήσεις. Αναφορά γίνεται και στις δύο κατηγορίες σφαλμάτων συστηματικών και τυχαίων. Τέλος, παραθέτονται τα βήματα για τη σχεδίαση γραφικής παράστασης μιας ευθείας και σχολιάζεται το γεγονός ότι η ευθεία που χαράσσεται δεν περιέχει όλα τα πειραματικά σημεία λόγω των σφαλμάτων κατά τη μέτρηση.

Αντίστοιχα στον εργαστηριακό οδηγό της **Α΄ Λυκείου** γίνεται λόγος για τα όργανα μέτρησης μήκους, χρόνου, μάζας και δύναμης καθώς και για διατάξεις μελέτης κινήσεων. Έτσι στη συνέχεια εισάγεται και η έννοια του σφάλματος-αβεβαιότητα στη μέτρηση. Χρησιμοποιείται ξανά το παράδειγμα μέτρησης με χάρακα εκφράζοντας το αποτέλεσμα με το σφάλμα στη μορφή «14,5±0,5 mm». Αναφέρονται οι κατηγορίες των σφαλμάτων συστηματικά και τυχαία μαζί με παραδείγματα από την κάθε περίπτωση. Η μέση τιμή (ή μέσος όρος) χαρακτηρίζεται ως η πλησιέστερη τιμή στην πραγματική και γίνεται εφαρμογή του τύπου με ένα παράδειγμα. Σε αντίθεση με τον εργαστηριακό οδηγό της Γ΄ Γυμνασίου, εδώ υπάρχει αναφορά για τα σημαντικά ψηφία και στο ότι η στρογγυλοποίηση γίνεται με βάση τα σημαντικά ψηφία που χρειαζόμαστε στη κάθε μέτρηση. Καταλήγει στον τρόπο κατασκευής της γραφικής παράστασης με παραδείγματα σε γραμμικές και μη γραμμικές συναρτήσεις.

Ο εργαστηριακός οδηγός της **Β΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας** ξεκινά με την ασφάλεια στο εργαστήριο και στη συνέχεια παραθέτει τις εργαστηριακές ασκήσεις δεν γίνεται αναφορά στη θεωρία σφαλμάτων κατά τις μετρήσεις.

Στην **Β΄** και **Γ΄ Λυκείου** οι εργαστηριακοί οδηγοί της **Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών** περιέχουν ακριβώς την ίδια εισαγωγή για τα σφάλματα στις μετρήσεις. Γίνεται αναφορά και εδώ για την μέτρηση, τις άμεσες και έμμεσες μετρήσεις όπως και για συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Εκτός από τη μέση τιμή εισάγεται και η έννοια της απόκλισης από τη μέση τιμή καθώς επίσης πλέον το σφάλμα αναφέρεται ως απόλυτο και σχετικό. Τέλος, και εδώ γίνεται λόγος για σημαντικά ψηφία και κατασκευή γραφικής παράστασης.

Πίνακας 2

Οι έννοιες σχετικά με τη μέτρηση στους σχολικούς πειραματικούς οδηγούς

ΤΑΞΗ	ΜΕΤΡΗΣΗ	ΣΦΑΛΜΑΤΑ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΑΠΟΛΥΤΟ-ΣΧΕΤΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ
Γ'Γυμνασίου	Μέτρηση, μονάδα μέτρησης	Σφάλμα μέτρησης (συστηματικά και τυχαία σφάλματα)	Μέση τιμή (μέσος όρος)		Στρογγυλοποίηση	Κατασκευή γραφικής παράστασης
Α΄Λυκείου	Όργανα μέτρησης μήκους, χρόνου, μάζας, δύναμης (Διατάξεις για μελέτη κινήσεων)	Αβεβαιότητα-σφάλμα μέτρησης (συστηματικά και τυχαία σφάλματα)	Μέση τιμή		Σημαντικά ψηφία και στρογγυλοποίηση	Κατασκευή γραφικής παράστασης (απλές συναρτήσεις, κλίση και εμβαδόν)
Β΄Λυκείου (γενικής παιδείας)	Δεν γίνεται αναφορά	Δεν γίνεται αναφορά	Δεν γίνεται αναφορά	Δεν γίνεται αναφορά	Δεν γίνεται αναφορά	Δεν γίνεται αναφορά
Β΄ Λυκείου* (κατεύθυνσης)	Μέτρηση φυσικού μεγέθους (άμεσες-έμμεσες μετρήσεις)	Τυχαία και συστηματικά σφάλματα	Μέση τιμή και απόκλιση από τη μέση τιμή	Απόλυτο και σχετικό σφάλμα	Σημαντικά ψηφία (στρογγυλοποίηση)	Κατασκευή γραφικής παράστασης (ανεξάρτητη-εξαρτημένη μεταβλητή)
Γ΄ Λυκείου* (κατεύθυνσης)	Μέτρηση φυσικού μεγέθους (άμεσες-έμμεσες μετρήσεις)	Τυχαία και συστηματικά σφάλματα	Μέση τιμή και απόκλιση από τη μέση τιμή	Απόλυτο και σχετικό σφάλμα	Σημαντικά ψηφία (στρογγυλοποίηση)	Κατασκευή γραφικής παράστασης (ανεξάρτητη-εξαρτημένη μεταβλητή)

3.2 Το επιστημονικό περιεχόμενο και ο διδακτικός μετασχηματισμός του

Τρία «σώματα» γνώσης εμπλέκονται στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών: (i) Η επιστημονική γνώση, (ii) η βιωματική γνώση και (iii) η σχολική εκδοχή της επιστημονικής γνώσης (ή, απλά, σχολική γνώση) (Κολιόπουλος 2006, Κουλαϊδής 2001). Η επιστημονική γνώση είναι αυτή που παράγεται στα πανεπιστήμια και στα ερευνητικά κέντρα των φυσικών επιστημών και κωδικοποιείται στα επιστημονικά περιοδικά και στα πανεπιστημιακά συγγράμματα. Η βιωματική γνώση αναφέρεται στις νοητικές παραστάσεις που οικοδομούν τα άτομα σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα, τις ιδιότητες τους και τις αρχές που διέπουν τις αλλαγές που υφίστανται. Αυτή γνώση διαμορφώνεται από την εμπειρία της καθημερινότητας μέσα στο περιβάλλον που ζουν τα άτομα. Τέλος, η σχολική γνώση διαμορφώνεται από τις εκπαιδευτικές συνθήκες, όπως οι εκπαιδευτικοί στόχοι και οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η παιδική σκέψη. Η σχολική γνώση περιγράφεται στα κείμενα των αναλυτικών προγραμμάτων, των σχολικών εγχειριδίων και των οδηγιών προς τους εκπαιδευτικούς. Η σχολική γνώση δεν αποτελεί απλοποιημένη μορφή της επιστημονικής γνώσης, αλλά είναι αποτέλεσμα διδακτικού μετασχηματισμού από το επίπεδο της επιστημονικής θεωρίας σε γνώση κατάλληλη να διδαχτεί στο στοχευόμενο πληθυσμό (Καριώτογλου 2006). Υπάρχει διάκριση ανάμεσα στη «φυσική του εκπαιδευτικού» και στη «φυσική του επιστήμονα» (Κόκοτας 2002).

Με βάση τα προηγούμενα, προκειμένου να προσδιοριστεί το προς διδασκαλία περιεχόμενο στην παρούσα έρευνα μελετήθηκαν εργασίες που αφορούν τις ιδέες των μαθητών σχετικά με την έννοια της μέτρησης (Ευαγγελινός & Βασιλιάδης 1998, Allie et al. 2003). Μελετήθηκαν σχετικά επιστημονικά κείμενα και εκπαιδευτικοί πειραματικοί οδηγοί που αφορούν διάφορες ηλιακές ομάδες (Αναστασάκης κ.α. 2010, Βαλασιάδης κ.α. 2012, Δρης 2015, Ramsey & Ellison 2007, Bell 2001, JCGM 100:2008) καθώς και οι ισχύοντες σχολικοί πειραματικοί οδηγοί και οι οδηγίες του υπουργείου παιδείας (όπως αναφέρεται στα κεφάλαια 3 & 1).

Για την δόμηση του ερωτηματολογίου, των σχεδίων μαθήματος και των φύλλων εργασίας της παρούσας έρευνας προσδιορίστηκε η προς διδασκαλία σχολική γνώση σχετικά με τη μέτρηση και την αβεβαιότητά της, η οποία συνοπτικά παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω.

1. Εισαγωγή

Η λήψη μετρήσεων αποτελεί θεμελιώδη επιστημονική διαδικασία. Οι μετρήσεις καθορίζουν το μέγεθος ή το μέτρο φυσικών ποσοτήτων ανάλογα με την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης. Η πραγματική τιμή όμως ενός μεγέθους δεν συμπίπτει πάντα με το αποτέλεσμα της μέτρησης. Εξάλλου και η επανάληψη της μέτρησης μας δίνει διαφορετικά αποτελέσματα. Έτσι, σε μια μέτρηση υπάρχει πάντα μια «αβεβαιότητα» και η διαφορά που υπάρχει μεταξύ της μετρήσιμης τιμής και της πραγματικής είναι το «σφάλμα» της μέτρησης.

Παρατήρηση: Διεθνώς για να εκφραστεί το πόσο πλησίον της πραγματικής τιμής είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης χρησιμοποιείται ο όρος *accuracy* ενώ ο όρος *precision* ή *reliability* χρησιμοποιείται για να εκφραστεί το πόσο μικρή είναι η διασπορά στο αποτέλεσμα διαδοχικών μετρήσεων ενός φυσικού μεγέθους. Στην ελληνική βιβλιογραφία ακολουθείται κυρίως η εξής σύμβαση, για τον όρο *accuracy* χρησιμοποιείται ο όρος *ακρίβεια* και για τον όρο *precision* ο όρος *αξιοπιστία*, θεωρώντας ότι έχει την ίδια σημασία με τον όρο *reliability*.

Οι κατηγορίες των σφαλμάτων είναι δυο, ανάλογα με την προέλευση τους, συστηματικά και τυχαία.

Τα **συστηματικά σφάλματα** δε μεταβάλλονται με τις διαδοχικές μετρήσεις αλλά εξαρτώνται από άλλες παραμέτρους, όπως κάποια ατέλεια του οργάνου μέτρησης ή μπορεί να οφείλονται στον παρατηρητή και στην μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε. Συνήθως είναι τα σημαντικότερα σφάλματα και η ανίχνευση αυτών είναι δύσκολη. Για τον περιορισμό τους σημαντικός παράγοντας είναι η πείρα του παρατηρητή και η σύγκριση των οργάνων μέτρησης με άλλα μεγαλύτερης ακρίβειας με αμελητέα συστηματικά σφάλματα.

Τυχαία ή στατιστικά σφάλματα είναι αυτά που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες και μεταβάλλονται με το χρόνο με ακανόνιστο τρόπο. Μπορεί να είναι θετικά ή και αρνητικά και οι διακυμάνσεις που προκαλούν γύρω από τη μέση τιμή μπορούν να είναι μικρές ή μεγάλες. Για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων αυτών, βοηθά η επανάληψη της μέτρησης πολλές φορές καθώς με αυτόν τον τρόπο αλληλοαναιρούνται σε μεγάλο βαθμό.

2. Σφάλμα μέτρησης

Η διαφορά της μετρήσιμης τιμής (x) ενός μεγέθους από τη πραγματική του τιμή (x_o) ονομάζεται ***απόλυτο σφάλμα μέτρησης***:

$$e = |x - x_o| \quad (1)$$

Το *%* ποσοστό του απόλυτου σφάλματος επί της πραγματικής τιμής του μεγέθους ονομάζεται ***% σχετικό σφάλμα***:

$$\sigma = \frac{|x - x_o|}{x_o} 100\% \quad (2)$$

Για την εκτίμηση της ορθότητας του αποτελέσματος μιας μέτρησης επειδή δεν γνωρίζουμε τη πραγματική τιμή (x_o) συγκρίνουμε το αποτέλεσμα (x) με αυτό της βιβλιογραφίας (x_α). Αυτή η τιμή ονομάζεται αποδεκτή τιμή και θεωρείται η ορθότερη τιμή, δηλαδή αυτή με την μικρότερη αβεβαιότητα.

$$\sigma = \frac{|x - x_\alpha|}{x} 100\% \quad (3)$$

3. Μέση τιμή μετρήσεων

Μια μέτρηση μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές με σκοπό την μείωση των τυχαίων σφαλμάτων και ως αποτέλεσμα λαμβάνουμε τη μέση τιμή των μετρήσεων αυτών. Η ***μέση τιμή*** $\bar{x}$, των αποτελεσμάτων $x_1, x_2, \ldots x_\nu$ μιας μέτρησης που επαναλαμβάνεται ν φορές δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_\nu}{\nu} \quad (4)$$

και αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή x_o.

Τα τυχαία σφάλματα e_ν μπορεί να είναι θετικά ή αρνητικά και ισχύει:

$$x_1 = x_o + e_1, \quad x_2 = x_o + e_2, \quad \ldots \quad x_\nu = x_o + e_\nu$$

τότε η σχέση (4) γίνεται:

$$\bar{x} = x_o + \frac{e_1 + e_2 + \cdots + e_\nu}{\nu}$$

Είναι εξίσου πιθανό, τα σφάλματα e_ν των μετρήσεων, να παίρνουν θετικές ή αρνητικές τιμές. Έτσι η μέση τιμή πλησιάζει στην πραγματική (x_o) καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος ν, το κλάσμα τείνει στο μηδέν.

4. Αβεβαιότητα μέτρησης

Η αβεβαιότητα σε μια μέτρηση είναι αναπόφευκτη. Όταν γνωρίζουμε την αβεβαιότητα της μέτρησης τότε η μέτρηση έχει νόημα. Η αβεβαιότητα σε μια μέτρηση δεν μπορεί να μηδενιστεί αλλά γίνεται προσπάθεια για τη μείωση αυτής. Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης γράφεται στη μορφή:

$$x \pm \Delta x$$

όπου x η καλύτερη εκτίμηση για το μετρούμενο μέγεθος και Δx η απόλυτη τιμή της αβεβαιότητας. Δηλαδή η πραγματική τιμή x_o, με πολύ μεγάλη πιθανότητα, είναι πλησίον της τιμής x και βρίσκεται μέσα στην περιοχή τιμών από x-Δx έως x+Δx.

Γίνεται συχνά και η χρήση της ***σχετικής αβεβαιότητας***:

$$\frac{\Delta x}{|x|}$$

και της ***% σχετικής αβεβαιότητας***:

$$\frac{\Delta x}{|x|} 100\%$$

ώστε να επιτυγχάνεται η σύγκριση αβεβαιοτήτων μεταξύ των μετρήσεων.

5. Σημαντικά ψηφία

Σημαντικά ψηφία είναι τα ψηφία της αριθμητικής τιμής, εκτός από τα συνεχόμενα μηδενικά στην αρχή του αριθμού, ενός φυσικού μεγέθους που γνωρίζουμε ότι είναι λίγο πολύ σωστά και συμβατά με την ακρίβεια που γνωρίζουμε την τιμή του. Το τελευταίο ψηφίο είναι αυτό με την μεγαλύτερη πιθανότητα να μην είναι σωστό. Παραδείγματα αριθμών με ένα σημαντικό ψηφίο είναι τα εξής:

5	0,5	0,005	5.10^{3}	5.10^{-3}

Αντίστοιχα αριθμητικές τιμές με 2 σημαντικά ψηφία:

21	0,21	0,020	$2{,}0.10^{5}$	$0{,}22.10^{-5}$

Τέλος σημαντικό είναι να τονίσουμε την περίπτωση με μηδενικά στο τέλος χωρίς κόμμα π.χ. 500 είναι ένα σημαντικό ψηφίο, για να είναι τρία σημαντικά ψηφία γράφουμε $5{,}00.10^{2}$.

Ο κανόνας που ακολουθούμε στην πράξη του πολλαπλασιασμού και της διαίρεσης είναι ότι το αποτέλεσμα που προκύπτει δε μπορεί να έχει περισσότερα σημαντικά ψηφία από τον αριθμό που έχει τα λιγότερα π.χ. (-3,25Χ0,21) / 0,8 = - 0,9

Αντίστοιχα στην πράξη της πρόσθεσης και της αφαίρεσης ο κανόνας που ακολουθείται είναι ότι βρίσκουμε την ελάχιστη τάξη των ψηφίων των αριθμών και επιλέγουμε τη μέγιστη μεταξύ αυτών π.χ. 10,00 1 + 0,0003 - 0,85 = 9,15

6. <u>Στρογγυλοποίηση</u>

Κατά τη στρογγυλοποίηση ενός αποτελέσματος σε μια τιμή με ορισμένο αριθμό σημαντικών ψηφίων τότε ακολουθούμε τους εξής κανόνες:

- Αν το δεξιότερο από το τελευταίο ΣΨ είναι 0,1,2,3,4 το τελευταίο ΣΨ μένει ως έχει.
- Αν το δεξιότερο από το τελευταίο ΣΨ είναι 5,6,7,8,9 τότε το τελευταίο ΣΨ αυξάνεται κατά 1.

Παραδείγματα στρογγυλοποίησης και τρία σημαντικά ψηφία αντίστοιχα:

Με δύο σημαντικά ψηφία	1,42 $\cong$ 1,4	1,46 $\cong$ 1,5
Με τρία σημαντικά ψηφία	$1{,}432.10^{3} \cong 1{,}43.10^{3}$	$1{,}506.10^{3} \cong 1{,}51.10^{3}$

7. Παρουσίαση αποτελέσματος μετρήσεων

Στα πλαίσια του σχολικού εργαστηρίου η αβεβαιότητα Δx δεν έχει νόημα να δίνεται με περισσότερα από ένα ΣΨ διότι ο αριθμός των μετρήσεων είναι περιορισμένος. Η μέση τιμή θα δίνεται με την ακρίβεια της αβεβαιότητας Δx, στην παρουσίαση του αποτελέσματος.

Σε μια μέτρηση μήκους αν έχουμε βρει $\bar{x}$=24,17m και Δx=0,432m στρογγυλοποιούμε την αβεβαιότητα με 1ΣΨ, οπότε προκύπτει Δx=0,4m και άρα η μέση τιμή θα στρογγυλοποιηθεί στο ένα δέκατο του μέτρου, δηλαδή $\bar{x}$=24,2m. Τελικά γράφουμε το αποτέλεσμα στη μορφή (24,2±0,4)m.

8. Υπολογισμός αβεβαιότητας

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας θα αναφερθεί σε περιπτώσεις ανάλογα με τη φύση του οργάνου μέτρησης που χρησιμοποιούμε, αναλογικό ή ψηφιακό όργανο.

Αναλογικό όργανο είναι αυτό που διαθέτει κλίμακα μέτρησης και δείκτη. Στη μέτρηση με αναλογικό όργανο ο πειραματιστής εκτιμά το αποτέλεσμα της μέτρησης με βάση τη θέση που βρίσκεται ο δείκτης. Αν η τιμή που «διαβάζει» είναι μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής x_{min} και μιας μέγιστης x_{max} , τότε η εκτίμηση για τη μέτρηση είναι

$$x = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}$$

Και η αβεβαιότητα

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}$$

Το αποτέλεσμα της μέτρησης γράφεται $x \pm \Delta x$.

Ένας πρακτικός κανόνας είναι ο πειραματιστής να γράφει ως x την καλύτερη κατ΄ αυτόν εκτίμηση και ως Δx να θεωρεί το μισό της απόστασης μεταξύ των δύο πλησιέστερων γραμμών της κλίμακας του οργάνου.

Ψηφιακό όργανο είναι αυτό στο οποίο το αποτέλεσμα της μέτρησης αναγράφεται σε οθόνη. Αν δεν γνωρίζουμε από τον κατασκευαστή την αβεβαιότητα του οργάνου θεωρούμε την αβεβαιότητα όσο μια μονάδα του τελευταίου ψηφίου της ένδειξης. Για παράδειγμα αν η ένδειξη μιας ζυγαριάς ήταν 31,3g θα γράφαμε ως αποτέλεσμα (31,3±0,1)g.

Στα ψηφιακά αλλά και στα αναλογικά όργανα πολλές φορές δίνει ο κατασκευαστής την αβεβαιότητα, είτε απολύτως, είτε ποσοστιαία. Σε αυτές τις περιπτώσεις καλόν είναι να λαμβάνεται αυτή υπόψη γιατί σε αρκετές περιπτώσεις είναι ακόμα μεγαλύτερη από ότι εκτιμάται με τους παραπάνω τρόπους.

Τέλος, στην περίπτωση τυχαίων σφαλμάτων που επαναλαμβάνεται πολλές φορές η μέτρηση με σκοπό τη μείωση αυτών, ως καλύτερη εκτίμηση για την τιμή του μεγέθους που μετράται θεωρείται η μέση τιμή των μετρήσεων που έγιναν. Για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας συνήθως χρησιμοποιούμε την *τυπική απόκλιση της μέσης τιμής*. Στα πλαίσια του σχολικού εργαστηρίου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η *μέση απόκλιση*. Αναλυτικότερα, έστω ότι μια μέτρηση επαναλήφθηκε *ν* φορές και το αποτέλεσμα των μετρήσεων ήταν $x_1, x_2, \ldots x_\nu$, τότε υπολογίζουμε

(α) την μέση τιμή, όπως στη σχέση (4)

(β) την απόλυτη τιμή της διαφοράς κάθε μέτρησης από την μέση τιμή (απόκλιση)

(γ) την μέση απόκλιση, από την παρακάτω σχέση (5)

$$\Delta x = \frac{|x_1-\bar{x}|+|x_2-\bar{x}|+\cdots+|x_\nu-\bar{x}|}{\nu} \quad (5)$$

Το τελικό αποτέλεσμα γράφεται ως $\bar{x} \pm \Delta x$

9. <u>Η διάδοση της αβεβαιότητας</u>

Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε πειραματικά ένα μέγεθος f το οποίο προκύπτει από μια γνωστή σχέση δύο ή περισσότερων άλλων μεγεθών *x,y,…* των οποίων μπορούμε να μετρήσουμε πειραματικά τις τιμές. Για παράδειγμα, σε ένα πείραμα μετράμε το διάστημα που διανύει είναι σώμα και τον αντίστοιχο χρόνο και θέλουμε να υπολογίσουμε την μέση ταχύτητα, που ξέρουμε ότι ορίζεται ως το πηλίκο των παραπάνω μεγεθών. Τίθεται όμως το ερώτημα: Αν $\Delta x, \Delta y, \ldots$ οι τιμές της αβεβαιότητας για τα μετρήσιμα μεγέθη, ποια είναι αβεβαιότητα Δ*f* για το μέγεθος *f*; Υπάρχει μια γενική μαθηματική σχέση με τη βοήθεια της οποίας γίνεται ο υπολογισμός, ωστόσο στην περίπτωση του εργαστηρίου της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μπορούμε να υπολογίσουμε το Δ*f* προσεγγιστικά σε κάποιες περιπτώσεις.

(1) Η περίπτωση του αθροίσματος ή της διαφοράς

Αν είναι $f=x+y$ ή $f=x-y$ τότε έχουμε ότι $\Delta f= \Delta x+\Delta y$

Πράγματι μπορούμε να γράψουμε

$$(x\pm \Delta x)+(y\pm \Delta y)= (x+y) \pm (\Delta x +\Delta y) \quad (6) \text{ και}$$

$$(x\pm \Delta x) - (y\pm \Delta y)= (x-y)\pm (\Delta x +\Delta y) \quad (7)$$

(2) Η περίπτωση του γινομένου φυσικού μεγέθους επί σταθερά

Αν είναι $f=\alpha.x$, όπου α μία σταθερά τότε έχουμε ότι $\Delta f= |\alpha|.\Delta x$

Πράγματι μπορούμε να γράψουμε

$$\alpha(x\pm \Delta x)= \alpha x\pm |\alpha|\Delta x \quad (8)$$

(3) Η περίπτωση του γινομένου ή του πηλίκου

Αν είναι $f=x.y$ ή $f=x:y$ τότε έχουμε ότι $\Delta f= |f|(\frac{\Delta x}{|\chi|}+\frac{\Delta y}{|y|})$

Πράγματι θεωρώντας αμελητέο το γινόμενο $\Delta x.\Delta y$ μπορούμε να γράψουμε

$$(x\pm \Delta x).(y\pm \Delta y)=(xy)\pm|xy|(\frac{\Delta x}{|\chi|}+\frac{\Delta y}{|y|}) \quad (9) \text{ και}$$

$$(x\pm \Delta x):(y\pm \Delta y)=(x:y)\pm |x:y|(\frac{\Delta x}{|\chi|}+\frac{\Delta y}{|y|}) \quad (10)$$

(4) Η περίπτωση μεγέθους υψωμένο στο τετράγωνο

Αν είναι $f=x^2$ τότε έχουμε ότι $\Delta f=2|x|\Delta x$

Πράγματι ανάλογα με την σχέση (9), θεωρώντας $x=y$ μπορούμε να γράψουμε

$$(x \pm \Delta x)^2 = \chi^2 \pm 2|x|\Delta x \quad (11)$$

Παρατήρηση: Γενικά αν $f=x^n y^m z^k$… μπορούμε με καλή προσέγγιση να γράφουμε

$$\frac{\Delta f}{|f|} = \left|n\frac{\Delta x}{x}\right| + \left|m\frac{\Delta y}{y}\right| + \left|k\frac{\Delta z}{z}\right| + \ldots$$

3.3 Το ερωτηματολόγιο και η δόμησή του

Όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία της έρευνας, προκειμένου να δομηθεί η ΔΜΑ λήφθηκαν, εκτός των άλλων, υπόψη και οι απόψεις των μαθητών που τελειώνουν την δευτεροβάθμια εκπαίδευση σχετικά με βασικές έννοιες σχετικά με τη μέτρηση. Στο επίπεδο των εννοιών (όχι των δεξιοτήτων), προσδιορίστηκαν από τη μελέτη της βιβλιογραφίας για το μετασχηματισμό της επιστημονικής γνώσης (όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο) σε γνώση προς διδασκαλία οι παρακάτω πυρηνικές ιδέες.

Πίνακας 3

ΟΙ ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ
(1) Η λήψη μετρήσεων είναι μια από τις θεμελιώδεις επιστημονικές διαδικασίες.
(2) Το «σφάλμα μέτρησης» δεν είναι «λάθος» είναι «αναπόφευκτο» στοιχείο μιας μέτρησης. Είναι δυνατόν να μειώσουμε τα σφάλματα σε μια μέτρηση αλλά όχι να τα μηδενίσουμε.
(3) Η αριθμητική τιμή ενός φυσικού μεγέθους γράφεται με αριθμό που είναι συμβατός με την ακρίβεια που γνωρίζουμε την τιμή του μεγέθους.
(4) Η μέτρηση αποκτά νόημα όταν συνοδεύεται από τη γνώση της αβεβαιότητάς της.
(5) Στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων εργαστηριακών μετρήσεων η μέση τιμή αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή.

Για τη λήψη των απόψεων των μαθητών της Γ΄ Λυκείου δομήθηκε ένα ερωτηματολόγιο με πέντε ερωτήσεις. Μία για κάθε μία από τις παραπάνω πυρηνικές ιδέες. Το ερωτηματολόγιο δόθηκε αρχικά σε επτά μαθητές προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσο οι ερωτήσεις είναι κατανοητές. Στη συνέχεια μετά από κάποιες μικρές βελτιώσεις καταλήξαμε στο τελικό ερωτηματολόγιο που παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ- ΤΑΞΗ……………

(1) Οι επιστήμονες κατά την εργασία τους εκτελούν μετρήσεις. Γράψετε παρακάτω επιγραμματικά το λόγο ή τους λόγους για τους οποίους, κατά την άποψή σας, αυτοί εκτελούν μετρήσεις.

……

……

……

……

……

(2) Οι μαθητές μιας τάξης του λυκείου παρακολούθησαν τη διάλεξη ενός επιστήμονα. Την άλλη μέρα ο καθηγητής της φυσικής έγραψε στον πίνακα δύο προτάσεις οι οποίες αναφέρονται στα αποτελέσματα των μετρήσεων που κάνουν επιστήμονες στα πιο σύγχρονα εργαστήρια, προκειμένου να διαπιστώσει την άποψη που σχημάτισαν οι μαθητές μετά τη διάλεξη.
(Α) Οι επιστήμονες με προσεκτικούς χειρισμούς και με τα σύγχρονα όργανα που διαθέτουν είναι σε θέση να εκτελούν μετρήσεις με ακρίβεια 100%.
(Β) Οι επιστήμονες μπορούν να μετρούν την τιμή ενός φυσικού μεγέθους, με μεγάλη ακρίβεια, αλλά πάντα με κάποια αβεβαιότητα.
Συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω προτάσεις; Αν ΝΑΙ με ποια και γιατί; Αν ΟΧΙ γράψτε σύντομα την άποψή σας.

……

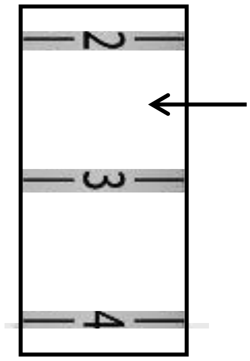
……

……

……

……

(3) Ζητήθηκε από τρεις μαθητές Α, Β, Γ να γράψουν ένα αριθμό που κατά την άποψή τους αναπαριστά καλύτερα την τιμή που δείχνει το βελάκι στο διπλανό σχήμα, χωρίς να χρησιμοποιήσουν κάποιο άλλο όργανο. Οι μαθητές έγραψαν



Α. 2,45 **Β.** 2,4 **Γ.** 2,455

Συμφωνείς με κάποιον από τους παραπάνω μαθητές αν ναι με ποιόν και γιατί; Αν όχι δώσε μια δικιά σου απάντηση και αιτιολόγησε

…….

…….

…….

…….

…….

(4) Η καθηγήτρια της φυσικής έδωσε σε δύο μαθήτριες **Α**, **Β**, από ένα ψηφιακό ωμόμετρο του εργαστηρίου να μετρήσουν την τιμή της αντίστασης ενός αντιστάτη. Η ακρίβεια από τον κατασκευαστή των οργάνων αναγράφεται σε αυτά **±2%**. Η καθηγήτρια έδωσε πρώτα ένα αντιστάτη στην **Α** μαθήτρια και αποτέλεσμα της μέτρησης ήταν **434Ω**. Στη συνέχεια η καθηγήτρια πήρε πίσω τον αντιστάτη και έδωσε στην μαθήτρια **Β** τον ίδιο ή έναν άλλο παρόμοιο αντιστάτη. Η μέτρηση της μαθήτριας **Β** ήταν **437Ω**. Η καθηγήτρια ζήτησε από τους μαθητές της τάξης να αποφανθούν αν έδωσε στις **Α** και **Β** τον ίδιο ή ένα άλλο παρόμοιο αντιστάτη. Τρεις χαρακτηριστικές απαντήσεις από τους μαθητές της τάξης ήταν:

(α) Δώσατε άλλον αντιστάτη γιατί τα όργανα είναι ψηφιακά και θα έγραφαν και τις δύο φορές το ίδιο αν δίνατε τον ίδιο αντιστάτη.
(β) Με βάση την ακρίβεια 2% έχουμε ένα σφάλμα πάνω από 8Ω (το 2% του 437 είναι 8,74). Το σφάλμα είναι προφανώς μεγαλύτερο από την διαφορά των 3Ω που είχαν οι δύο μετρήσεις, άρα **δώσατε τον ίδιο αντιστάτη**.
(γ) Έχουμε ένα σφάλμα πάνω από 8Ω, άρα το συμπέρασμα είναι ότι **δεν είναι δυνατόν να αποφανθούμε** με βάση την ακρίβεια του οργάνου. Μπορεί να δώσατε τον ίδιο ή ένα παρόμοιο αντιστάτη.
Συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω απαντήσεις. Αν ΝΑΙ με ποιά; Αν ΟΧΙ γράψτε σύντομα την άποψή σας.

………

………

………

………

………

(5) Σε ένα πείραμα μέτρησης της περιόδου *T* ενός εκκρεμούς οι μαθητές επανέλαβαν την μέτρηση 10 φορές και βρήκαν τις τιμές

T (s)	2,2	1,9	2,3	2,2	1,7	2,2	1,9	2,2	2,1	2,3

Οι μαθητές στη συνέχεια συζήτησαν για το ποια θα ήταν η καλύτερη εκτίμηση για τις μετρήσεις τους ώστε να γράψουν ένα αποτέλεσμα. Είπαν διάφορες απόψεις όπως, να θεωρήσουν ως καλύτερη εκτίμηση:

(Α) τον μέσο όρο της μικρότερης (1,7s) και της μεγαλύτερης τιμής (2,3s), δηλαδή **2,0s**

(Β) την πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή, **2,2s** (εμφανίστηκε σε 4 από τις 10 μετρήσεις)

(Γ) την μέση τιμή, δηλαδή να προσθέσουν όλες τις τιμές και διαιρέσουν δια 10, οπότε προκύπτει **2,1s.**

Συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω απόψεις; Αν ΝΑΙ με ποιά και γιατί; Αν ΟΧΙ τι θα προτείνατε;

………

………

………

………

………

3.4 Η εφαρμογή και τα ευρήματα του 1ου σταδίου της έρευνας

Το ερωτηματολόγιο, όπως ήδη αναφέρθηκε στη μεθοδολογία, μοιράστηκε στους μαθητές της Γ΄ τάξης του Λυκείου στο οποίο πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της ΔΜΑ σε μαθητές της Α΄ Λυκείου. Συμπωματικά συμπληρώθηκαν 100 ερωτηματολόγια πράγμα που καθιστά εύκολή και την εξαγωγή ποσοστών αφού το 1% αφορά την άποψη ενός μαθητή/μαθήτριας.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ευρήματα, ανά ερώτηση και στη συνέχεια θα συζητηθούν αυτά τα αποτελέσματα. Επαναλαμβάνεται η κάθε ερώτηση προς διευκόλυνση των αναγνωστών.

Δείγμα: 100 μαθητές

Ερώτηση (1) – Η λήψη μετρήσεων είναι μια από τις θεμελιώδεις επιστημονικές διαδικασίες.

Οι επιστήμονες κατά την εργασία τους εκτελούν μετρήσεις. Γράψετε παρακάτω επιγραμματικά το λόγο ή τους λόγους για τους οποίους, κατά την άποψή σας, αυτοί εκτελούν μετρήσεις.

Απαντήσεις

Οι απαντήσεις των μαθητών, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα και στο διάγραμμα:

Α/Α	Κατηγορία	Ποσοστό %
1	Λόγω της πειραματικής φύσης της Φυσικής	59
2	Για τον έλεγχο θεωριών /υποθέσεων	19
3	Δεν ξέρω / δεν απαντώ / άσχετο	11
4	Για τη μελέτη φαινομένων (αορίστως)	7
5	Επειδή είναι επιστήμονες (αορίστως)	4

Οι περισσότεροι μαθητές (59%) αναγνωρίζουν ότι οι επιστήμονες στο πεδίο της φυσικής εργάζονται στο εργαστήριο οπότε «εκ των πραγμάτων» κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων πραγματοποιούν μετρήσεις προκείμενου, για παράδειγμα, «να συγκρίνουν τιμές μεγεθών», «να βγάλουν συμπεράσματα», «να βελτιώσουν την ακρίβεια» ή «να ελαχιστοποιήσουν σφάλματα».

Ένας αριθμός μαθητών (19%) αναφέρθηκε στη διεξαγωγή μετρήσεων προκειμένου να ελεγχθούν θεωρίες ή υποθέσεις. Για παράδειγμα, ανέφεραν «για να ελέγξουν θεωρίες» ή «για εγκυρότητα υποθέσεων».

Το 11% των μαθητών ανέφεραν ότι δεν ξέρουν ή δεν συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο ή ανέφερα κάτι άσχετο, όπως «για την προστασία στα πειράματα»

Το 7% των μαθητών αναφέρθηκαν γενικώς και αορίστως στη «μελέτη φαινομένων»

Τέλος 4% αναφέρθηκαν στον ρόλο των επιστημόνων αόριστα. Συγκεκριμένα ανέφεραν: «επειδή πρέπει», «επειδή ερευνούν», «ασχολούνται με μετρήσιμα μεγέθη» και «είναι εξειδικευμένοι».

Ερώτηση (2) - Το «σφάλμα μέτρησης» δεν είναι «λάθος» είναι «αναπόφευκτο» στοιχείο μιας μέτρησης. Είναι δυνατόν να μειώσουμε τα σφάλματα σε μια μέτρηση αλλά όχι να τα μηδενίσουμε.

Οι μαθητές μιας τάξης του λυκείου παρακολούθησαν τη διάλεξη ενός επιστήμονα. Την άλλη μέρα ο καθηγητής της φυσικής έγραψε στον πίνακα δύο προτάσεις οι οποίες αναφέρονται στα αποτελέσματα των μετρήσεων που κάνουν επιστήμονες στα πιο σύγχρονα εργαστήρια, προκειμένου να διαπιστώσει την άποψη που σχημάτισαν οι μαθητές μετά τη διάλεξη.

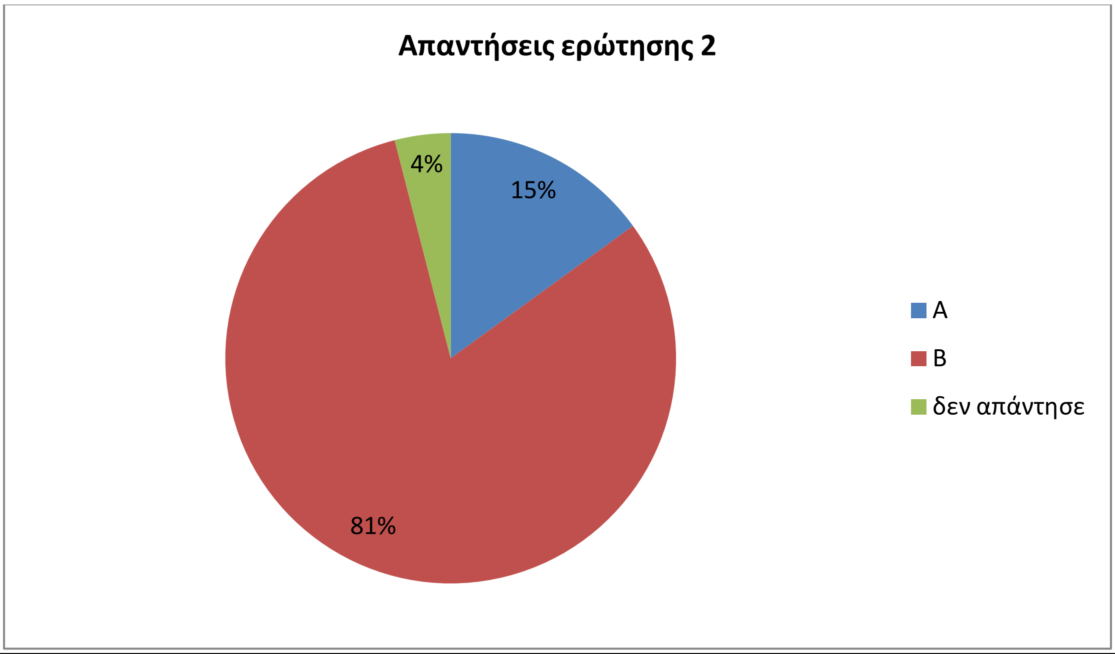
(Α) Οι επιστήμονες με προσεκτικούς χειρισμούς και με τα σύγχρονα όργανα που διαθέτουν είναι σε θέση να εκτελούν μετρήσεις με ακρίβεια 100%.

(Β) Οι επιστήμονες μπορούν να μετρούν την τιμή ενός φυσικού μεγέθους, με μεγάλη ακρίβεια, αλλά πάντα με κάποια αβεβαιότητα.

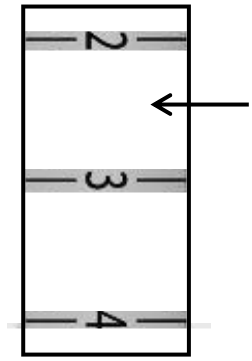
Συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω προτάσεις; Αν ΝΑΙ με ποια και γιατί; Αν ΌΧΙ γράψτε σύντομα την άποψή σας.

Απαντήσεις

Όπως προκύπτει από το ακόλουθο διάγραμμα το 4% των μαθητών δεν απάντησαν στην ερώτηση. Οι περισσότεροι (81%) φαίνεται να είναι ενήμεροι για την ύπαρξη αβεβαιότητας στις μετρήσεις ακόμα και των πιο σύγχρονων εργαστηρίων. Ωστόσο, το 15% των τελειόφοιτων μαθητών του συγκεκριμένου λυκείου θεωρεί ότι οι «επιστημονικές» μετρήσεις είναι 100% ακριβείς.



Ερώτηση (3) - Η αριθμητική τιμή ενός φυσικού μεγέθους γράφεται με αριθμό που είναι συμβατός με την ακρίβεια που γνωρίζουμε την τιμή του μεγέθους.



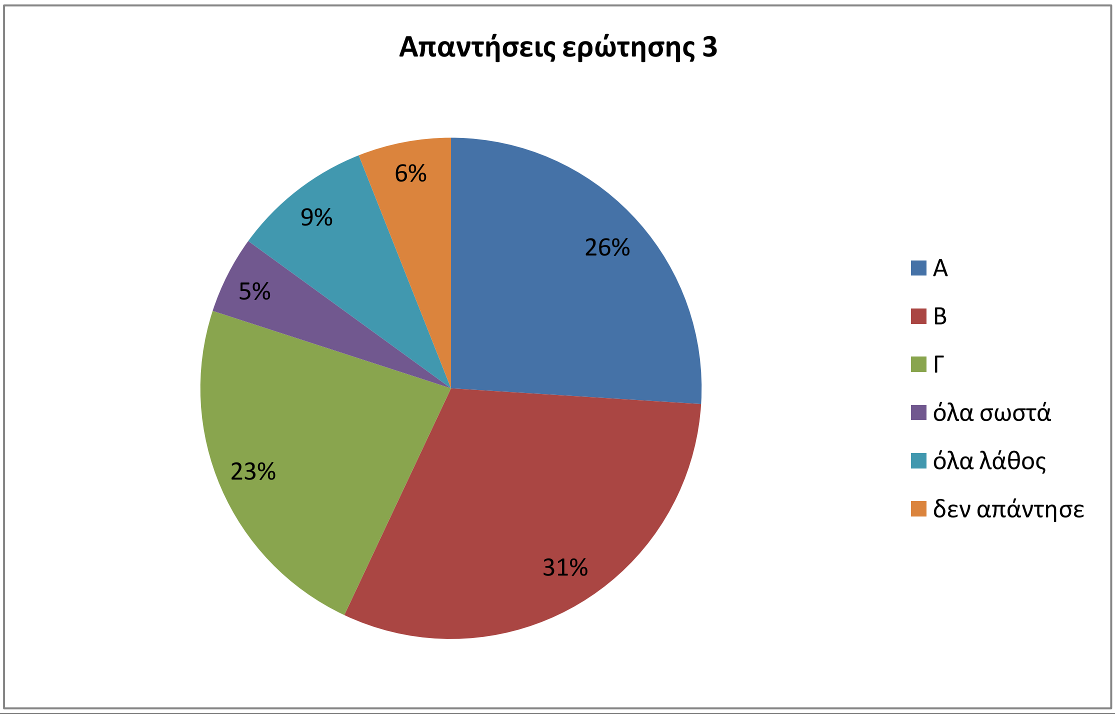
Ζητήθηκε από τρεις μαθητές Α, Β, Γ να γράψουν ένα αριθμό που κατά την άποψή τους αναπαριστά καλύτερα την τιμή που δείχνει το βελάκι στο διπλανό σχήμα, χωρίς να χρησιμοποιήσουν κάποιο άλλο όργανο. Οι μαθητές έγραψαν

Α. 2,45 **Β.** 2,4 **Γ.** 2,455

Συμφωνείς με κάποιον από τους παραπάνω μαθητές αν ναι με ποιόν και γιατί; Αν όχι δώσε μια δικιά σου απάντηση και αιτιολόγησε.

Απαντήσεις

Όπως προκύπτει από το ακόλουθο διάγραμμα λιγότερο από το 1/3 (31%) των μαθητών συντάχθηκαν με το Β. Εξαιρώντας το 6% που δεν απάντησε, διαπιστώνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών (26%+23%+5%+9%=63%) μάλλον δεν συνδέει την ακρίβεια τις μέτρησης με τις δυνατότητες με την πληροφορία που μπορεί να μας δώσει το όργανο μέτρησης.



Ερώτηση (4) - Η μέτρηση αποκτά νόημα όταν συνοδεύεται από τη γνώση της αβεβαιότητάς της.

Η καθηγήτρια της φυσικής έδωσε σε δύο μαθήτριες **Α**, **Β**, από ένα ψηφιακό ωμόμετρο του εργαστηρίου να μετρήσουν την τιμή της αντίστασης ενός αντιστάτη. Η ακρίβεια από τον κατασκευαστή των οργάνων αναγράφεται σε αυτά **±2%**. Η καθηγήτρια έδωσε πρώτα ένα αντιστάτη στην **Α** μαθήτρια και αποτέλεσμα της μέτρησης ήταν **434Ω**. Στη συνέχεια η καθηγήτρια πήρε πίσω τον αντιστάτη και έδωσε στην μαθήτρια **Β** <u>τον ίδιο ή έναν άλλο παρόμοιο</u> αντιστάτη. Η μέτρηση της μαθήτριας **Β** ήταν **437Ω**. Η καθηγήτρια ζήτησε από τους μαθητές της τάξης να αποφανθούν αν έδωσε στις **Α** και **Β** <u>τον ίδιο ή ένα άλλο παρόμοιο</u> αντιστάτη. Τρεις χαρακτηριστικές απαντήσεις από τους μαθητές της τάξης ήταν:

(α) Δώσατε άλλον αντιστάτη γιατί τα όργανα είναι ψηφιακά και θα έγραφαν και τις δύο φορές το ίδιο αν δίνατε τον ίδιο αντιστάτη.

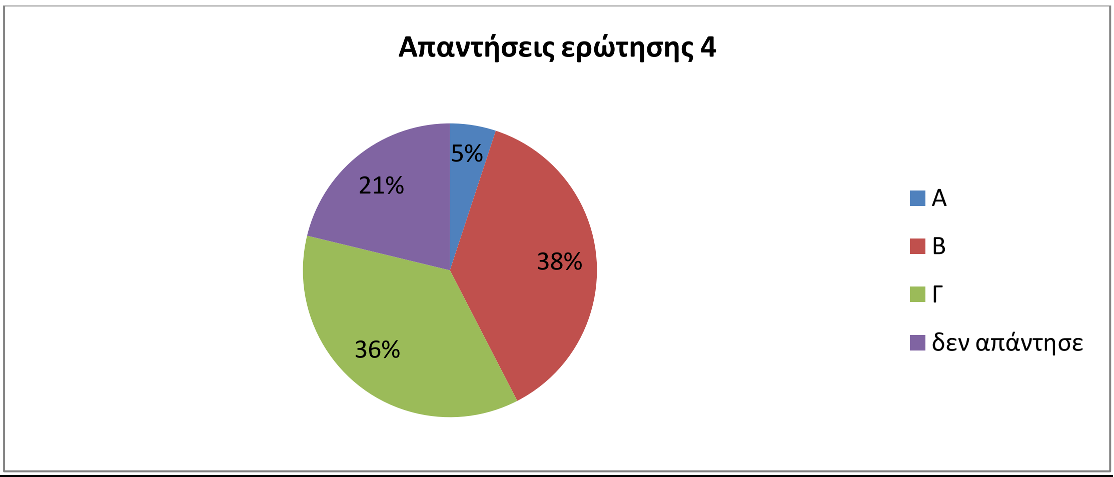
(β) Με βάση την ακρίβεια 2% έχουμε ένα σφάλμα πάνω από 8Ω (το 2% του 437 είναι 8,74). Το σφάλμα είναι προφανώς μεγαλύτερο από την διαφορά των 3Ω που είχαν οι δύο μετρήσεις, άρα **δώσατε τον ίδιο αντιστάτη**.

(γ) Έχουμε ένα σφάλμα πάνω από 8Ω, άρα το συμπέρασμα είναι ότι **δεν είναι δυνατόν να αποφανθούμε** με βάση την ακρίβεια του οργάνου. Μπορεί να δώσατε τον ίδιο ή ένα παρόμοιο αντιστάτη.

Συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω απαντήσεις. Αν ΝΑΙ με ποιά; Αν ΟΧΙ γράψτε σύντομα την άποψή σας.

<u>Απαντήσεις</u>

Όπως προκύπτει από το ακόλουθο διάγραμμα πάνω από το 1/5 των μαθητών (21%) δυσκολεύτηκε και δεν απάντησε. Είναι ενθαρρυντικό ότι μόνο το 5% θεωρεί ότι τα επιστημονικά όργανα είναι «τέλεια», υποθέτοντας ότι δύο διαφορετικά ψηφιακά όργανα του ίδιου τύπου και κατασκευαστή, αν μετρήσουν το ίδιο μέγεθος πρέπει υποχρεωτικά να δείξουν ακριβώς την ίδια ένδειξη. Οι μαθητές στην πλειοψηφία τους (36%+38%=74%) πιστεύουν ότι η μέτρηση συνοδεύεται από σφάλματα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα συμπεράσματα. Ωστόσο, το 38% υιοθετεί την μονοσήμαντη απάντηση και το υπόλοιπο 36% υιοθετεί την άποψη ότι η αβεβαιότητα μπορεί να είναι τέτοια ώστε να οδηγεί σε «μη ασφαλή» συμπεράσματα.



Ερώτηση (5) - Στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων εργαστηριακών μετρήσεων η μέση τιμή αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή.

Σε ένα πείραμα μέτρησης της περιόδου *T* ενός εκκρεμούς οι μαθητές επανέλαβαν την μέτρηση 10 φορές και βρήκαν τις τιμές

T (s)	2,2	1,9	2,3	2,2	1,7	2,2	1,9	2,2	2,1	2,3

Οι μαθητές στη συνέχεια συζήτησαν για το ποια θα ήταν η καλύτερη εκτίμηση για τις μετρήσεις τους ώστε να γράψουν ένα αποτέλεσμα. Είπαν διάφορες απόψεις όπως, να θεωρήσουν ως καλύτερη εκτίμηση:

(Α) τον μέσο όρο της μικρότερης (1,7s) και της μεγαλύτερης τιμής (2,3s), δηλαδή **2,0s**

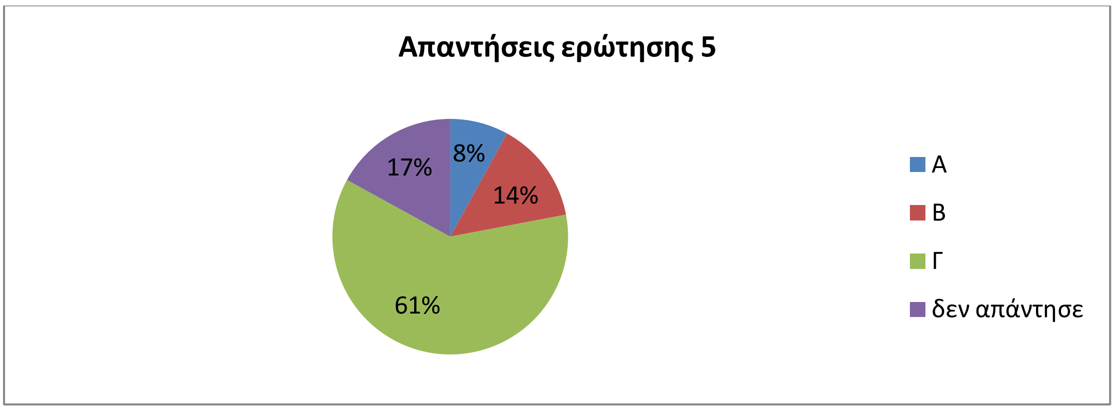
(Β) την πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή, **2,2s** (εμφανίστηκε σε 4 από τις 10 μετρήσεις)

(Γ) την μέση τιμή, δηλαδή να προσθέσουν όλες τις τιμές και διαιρέσουν δια 10, οπότε προκύπτει **2,1s.**

Συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω απόψεις; Αν ΝΑΙ με ποιά και γιατί; Αν ΟΧΙ τι θα προτείνατε;

Απαντήσεις

Όπως προκύπτει από το ακόλουθο διάγραμμα πάνω από το 17% δυσκολεύτηκε και δεν απάντησε. Το 61% επιλέγει την μέση τιμή ως καλύτερη εκτίμηση. Η απάντηση αυτών των μαθητών ίσως εξηγείται από το γεγονός ότι, έστω και αν δεν έχουν εργαστηριακή εμπειρία, τουλάχιστον στη Φυσική της Α΄ Γυμνασίου, που περιλαμβάνει μόνο πειραματικές διαδικασίες, έχουν κατ' επανάληψη υπολογίσει τη μέση τιμή επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Μόνο με τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο δεν μπορούμε να αποφανθούμε κατά πόσο αυτό το ποσοστό των μαθητών εκφράζει και την αντίληψη ότι κάθε μέτρηση είναι μόνο μια προσέγγιση στην πραγματική τιμή και ότι η απόκλιση από την πραγματική τιμή είναι τυχαία (Lubben et al. 2001). Παρατηρούμε ότι 14% των μαθητών επιλέγουν ως «καλύτερη» τη πιο συχνά επαναλαμβανόμενη μέτρηση, επειδή, όπως έχει δείξει η έρευνα, (Allie et al. 2003) αυτοί οι μαθητές φαίνεται να έχουν την άποψη ότι με «μία καλή» μέτρηση έχουμε το σωστό αποτέλεσμα. Τέλος, το 8% επιλέγει τη το μέσο όρο των ακραίων τιμών ως την καλύτερη εκτίμηση.



Συμπεράσματα - συζήτηση των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου

Η εφαρμογή της ΔΜΑ, όπως ήδη αναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε σε μαθητές της Α΄ τάξης ενός συγκεκριμένου Λυκείου πρωτεύσας νομού. Το ερωτηματολόγιο δόθηκε στους μαθητές της Γ΄ τάξης του ίδιου Λυκείου για να εκφράσουν σύντομα τις απόψεις τους για τις βασικές έννοιες της ΔΜΑ που δομήθηκε στη συνέχεια. Για λόγους που σχετίζονται με χρονικούς περιορισμούς και θέματα αξιοπιστίας το ερωτηματολόγιο αποφασίστηκε να είναι σύντομο ώστε να απαντηθεί στην αρχή των μαθημάτων της ίδιας διδακτικής ώρας. Συνεπώς, δεν μπορεί να αναδειχθεί μέσω των ερωτήσεων όλο το εύρος των υποκείμενων αντιλήψεων των μαθητών. Αυτό άλλωστε επιδιώκεται μέσω της εφαρμογής της ΔΜΑ. Ωστόσο, οι απαντήσεις έδωσαν στοιχεία για σημεία που έπρεπε να ληφθούν υπόψη και να εστιάσει η προτεινόμενη διδακτική πρόταση. Επίσης, τα αποτελέσματα από το ερωτηματολόγιο δεν μπορούν να γενικευτούν λόγω του περιορισμένου αριθμού των μαθητών, οι οποίοι μάλιστα φοιτούν όλοι στο ίδιο Λύκειο. Τα αποτελέσματα βοήθησαν στο σχεδιασμό της ΔΜΑ της συγκεκριμένης εργασίας και αποτελούν ένδειξη για τον τρόπο σκέψης των μαθητών σχετικά με την έννοια της μέτρησης. Προκειμένου να γενικευτούν θα πρέπει η έρευνα να επεκταθεί σε περισσότερα σχολεία και μαθητές.

Συνοπτικά μπορούμε να συμπεράνουμε από τις απαντήσεις των μαθητών.

1. Οι μαθητές στην πλειοψηφία θεωρούν την διεξαγωγή μετρήσεων ως μια βασική επιστημονική διαδικασία, κυρίως όμως ως συνέπεια του ότι αυτή η διαδικασία είναι μέρος της διεξαγωγής πειραμάτων, η οποία με τη σειρά της είναι συνυφασμένη ή και ταυτισμένη με την εργασία του επιστήμονα.
2. Οι μαθητές στην πλειοψηφία φαίνεται να συμφωνούν ότι η αβεβαιότητα είναι δομικό στοιχείο της μέτρησης. Ωστόσο ένας αριθμός μαθητών (15%) θεωρεί ότι οι επιστήμονες είναι σε θέση να εκτελούν μετρήσεις με απόλυτη ακρίβεια.
3. Οι μαθητές στην πλειονότητα δεν συνδέουν την ακρίβεια της μέτρησης με τις δυνατότητες του οργάνου μέτρησης και με την πληροφορία που αυτό «μπορεί να δώσει». Με άλλα λόγια θεωρούν δεκτή ως απάντηση σε μια

μέτρηση μια αριθμητική τιμή που δεν συνάδει με την κλίμακα και την ακρίβεια του οργάνου. Ίσως αυτό να αποτελεί συνέπεια του ελλείμματος της εργαστηριακής πρακτικής. Σε αυτό το σημείο δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό της ΔΜΑ.

4. Οι μαθητές στην πλειοψηφία τους δεν πιστεύουν στην απόλυτη «τελειότητα» των επιστημονικών οργάνων μέτρησης. Πιστεύουν ότι η μέτρηση συνοδεύεται από σφάλματα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα συμπεράσματα. Ωστόσο, παραπάνω από τους μισούς από αυτούς, φαίνεται να υιοθετούν την άποψη ότι πάντα το αποτέλεσμα της μέτρησης πάντα πρέπει οδηγεί σε μονοσήμαντη απάντηση σχετικά με το αποτέλεσμα ενός ερευνητικού ερωτήματος.
5. Πάνω από τους μισούς μαθητές επιλέγουν την μέση τιμή ως καλύτερη εκτίμηση στην περίπτωση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Δεν μπορεί να εκμαιευτεί από τις απαντήσεις κατά αν επέλεξαν τη συγκεκριμένη επειδή απλά αυτό το έχουν κάνει μηχανικά στην περίπτωση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε προηγούμενη τάξη ή έχουν κάποιο σκεπτικό. Αυτό είναι ένα σημείο που διερευνάται στην εφαρμογή της ΔΜΑ. Υπάρχει ωστόσο και ένας αριθμός μαθητών (14%) που φαίνεται να έχουν την άποψη ότι με «μία καλή» μέτρηση έχουμε το σωστό αποτέλεσμα, γιατί επιλέγουν ως «καλύτερη» εκτίμηση τη πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Το 2ο στάδιο της έρευνας

4.1 Η δόμηση της Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ)

4.2 Τα σχέδια μαθήματος και τα φύλλα εργασίας

4.3 Τα ευρήματα

4.1 Η δόμηση της Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ)

Όπως ήδη αναφέρθηκε, βασικό σκοπό της παρούσας εργασίας αποτελεί η δόμηση και η εφαρμογή, για μια πρώτη αξιολόγηση. μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (Teaching Learning Sequence) (Psillos et al. 2004, Meeheut & Psillos 2004) που ως στόχο έχει την διδασκαλία εννοιών σχετικών με τη διαδικασία μετρήσεων στο σχολικό εργαστήριο φυσικών επιστημών και την ανάπτυξη αντίστοιχων ικανοτήτων από τους μαθητές.

Για την ανάπτυξη της ΔΜΑ, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, σχετικά με το διδακτικό μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχομένου ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω:

- Η βιβλιογραφία σχετικά με το επιστημονικό περιεχόμενο σχετικά με τη διαδικασία μετρήσεων (για παράδειγμα Αναστασάκης κ.α. 2010, Βαλασιάδης κ.α. 2012, Δρης 2015, Ramsey & Ellison 2007, Bell 2001).
- Η βιβλιογραφία σχετικά με το ρόλο της επιστημονικής διαδικασίας της μέτρησης στην εκπαιδευτική διαδικασία της μάθησης στις φυσικές επιστήμες (για παράδειγμα Κόκκοτας 2002, UNESCO 1994).
- Η βιβλιογραφία σχετικά με τις απόψεις των μαθητών για τις αντίστοιχες έννοιες (Ευαγγελινός & Βασιλιάδης 1998, Allie et al. 2003).
- Το εκπαιδευτικό υλικό που δίδεται στους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς, δηλαδή οδηγίες και εργαστηριακοί οδηγοί (στα κεφάλαια 1 & 3, παρουσιάζεται τι ισχύει τυπικά στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και το περιεχόμενο των σχολικών πειραματικών οδηγών)
- Οι απαντήσεις των μαθητών στο ερωτηματολόγιο που παρουσιάστηκε στο $1^{ο}$ στάδιο της έρευνας.
- Ο πιθανός διαθέσιμος διδακτικός χρόνος όπως προκύπτει από τα αναλυτικά προγράμματα.

Η ΔΜΑ αναπτύχθηκε ώστε να διδαχθεί σε πέντε διδακτικές ώρες. Στον ακόλουθο πίνακα 4 παρουσιάζεται συνοπτικά το περιεχόμενο της ΔΜΑ και στη συνέχεια παρουσιάζονται ανά μάθημα και ανά βήμα οι στόχοι και η προτεινόμενη διαδικασία και παράλληλα τα αντίστοιχα ερωτήματα του κάθε φύλλου εργασίας.

Πίνακας 4

Η Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία

Α/Α	Τίτλος Μαθήματος	Το προς διδασκαλία περιεχόμενο
1	Μέτρηση-Σφάλμα	-Η λήψη μετρήσεων μια από τις θεμελιώδεις επιστημονικές διαδικασίες - Ορισμός της μέτρησης -Σφάλμα (απόλυτο και σχετικό) -Είδη σφαλμάτων -Διαφορά σφάλματος και λάθους
2	Σημαντικά ψηφία-Στρογγυλοποίηση	-Καθορισμός του αριθμού των ψηφίων που αναγράφεται το αποτέλεσμα μιας μέτρησης- Σημαντικά ψηφία (ΣΨ). -Κανόνες καθορισμού των ΣΨ στο αποτέλεσμα πράξεων. -Κανόνες στρογγυλοποίησης.
3	Αβεβαιότητα μέτρησης	-Αβεβαιότητα μέτρησης -Απόλυτη και σχετική τιμή της αβεβαιότητας -Αναγραφή του αποτελέσματος μιας μέτρησης -Αβεβαιότητα μέτρησης με αναλογικό και με ψηφιακό όργανο
4	Επανάληψη μέτρησης-Μέση τιμή-Αβεβαιότητα	-Η μέση τιμή ως καλύτερη εκτίμηση στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων. -Υπολογισμός της αβεβαιότητας κατά τη λήψη επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.
5	Η διάδοση της αβεβαιότητας	- Η εύρεση της αβεβαιότητας στην τιμή μεγέθους που προκύπτει από το αποτέλεσμα πράξεων μεταξύ των μετρήσιμων τιμών άλλων μεγεθών.

4.2 Σχέδια μαθήματος - Φύλλα εργασίας

Μέτρηση-Σφάλμα

Σχέδιο μαθήματος 1

Βήμα 1

Στόχος: Η εξαγωγή του συμπεράσματος από τους μαθητές ότι η λήψη μετρήσεων αποτελεί μια από τις θεμελιώδεις επιστημονικές διαδικασίες.

Διαδικασία: Συζήτηση με τους μαθητές πάνω στις απόψεις τους, για ποιο λόγο οι επιστήμονες εκτελούν μετρήσεις αλλά και για τη μέτρηση στην καθημερινότητα. Καταγραφή απόψεων και συμπερασμάτων.

Βήμα 2

Στόχος: Η εισαγωγή του «ορισμού» της μέτρησης, δηλαδή ότι η μέτρηση αποσκοπεί στον καθορισμό ενός φυσικού μεγέθους σχετικά με μια ορισμένη μονάδα μέτρησης.

Διαδικασία: **(Α)** Καλούνται οι μαθητές να πραγματοποιήσουν μέτρηση των διαστάσεων ενός βιβλίου με χάρακα και να καταγράψουν το αποτέλεσμα της μέτρησής τους.

(Β) Γίνεται συζήτηση πάνω στο τι δείχνει το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, δηλαδή τη σχέση του μεγέθους με την αντίστοιχη μονάδα. Καταγραφή απόψεων και συμπερασμάτων.

Φύλλο εργασίας 1

Βήμα 1

Οι επιστήμονες κατά την εργασίας τους εκτελούν μετρήσεις. Συζητήστε το λόγο ή τους λόγους που κατά την άποψή σας αυτοί εκτελούν μετρήσεις και να τον (τους) γράψετε παρακάτω επιγραμματικά.

Βήμα 2

(Α) Μετρήστε με το χάρακά τις διαστάσεις του εξώφυλλου ενός βιβλίου και γράψτε το αποτέλεσμα.

(Β) Ένας μαθητής ζυγίζεται σε μια ζυγαριά και το αποτέλεσμα που αναγράφει η ζυγαριά είναι 65 Kg. Συζητήστε τι δείχνει αυτό το αποτέλεσμα. Γράψτε συνοπτικά την άποψή σας.

Βήμα 3

Στόχος: Η διασαφήνιση του ότι το σφάλμα μιας μέτρησης δεν είναι λάθος αλλά αναπόφευκτο στοιχείο μιας μέτρησης.

Διαδικασία: **(Α)** Δίνεται παράδειγμα στο οποίο εισάγεται η έννοια του απόλυτου σφάλματος της μέτρησης και ακολουθεί συζήτηση πάνω στις πιθανές αιτίες δημιουργίας του. Οι μαθητές καλούνται να εντοπίσουν τη διαφορά του περιεχομένου των λέξεων σφάλμα και λάθος. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός-υποστηρικτικός.

(Β) Εν συνεχεία του προηγούμενου παραδείγματος εισάγεται και η έννοια του % σχετικού σφάλματος. Δίνεται στους μαθητές καινούργιο παράδειγμα έτσι ώστε να εφαρμόσουν τον τύπο του % σχετικού σφάλματος για δύο μετρήσεις και να είναι σε θέση να συμπεράνουν ποια από αυτές έχει τη μεγαλύτερη ακρίβεια.

Βήμα 3

(Α) Ο καθηγητής γράφει στον πίνακα το παρακάτω κείμενο:
Ένα αδιαφανές σακουλάκι περιέχει ίδια μπαλάκια. Προκειμένου να υπολογίσει ένας μαθητής πόσα μπαλάκια περιέχει το σακουλάκι ζυγίζει με μια ζυγαριά τη μάζα από ένα μπαλάκι που διαθέτει καθώς και όλο το σακουλάκι. Κάνει τη διαίρεση χωρίς λάθος και βρίσκει ότι το σακουλάκι περιέχει 47 μπαλάκια. Στη συνέχεια, ανοίγει το σακουλάκι μετρά προσεχτικά χωρίς λάθος τα μπαλάκια και βρίσκει 50. Δηλαδή, η μέτρηση με τη ζυγαριά που έκανε ο μαθητής έδωσε μια «μετρήσιμη τιμή» X_M*=47 μπαλάκια και η «πραγματική τιμή» είναι* X_Π*=50 μπαλάκια. Τότε λέμε ότι η μέτρηση έχει ένα σφάλμα:*

$$e=|X_M-X_\Pi|=|47-50|=3 \text{ μπαλάκια}$$

Συζητείστε τις πιθανές αιτίες του σφάλματος της μέτρησης και αν κατά τη γνώμη σας η λέξη «σφάλμα», όπως ορίζεται παραπάνω, έχει το ίδιο περιεχόμενο με τη λέξη «λάθος». Γράψτε με λίγα λόγια αυτά που καταλήξατε από τη συζήτηση.

(Β) Διαβάστε τη συνέχεια του κειμένου…
Αν ο μαθητής μας πληροφορήσει ότι το σφάλμα είναι 3 μπαλάκια δεν θα έχουμε άποψη αν αυτό είναι μικρό ή μεγάλο, δηλαδή, αν η μέτρηση έχει μικρή ή μεγάλη ακρίβεια. Άλλο είναι να έχουμε σφάλμα 3 μπαλάκια σε σύνολο 50 και άλλο 3 μπαλάκια σε σύνολο 10. Για το λόγο αυτό ορίζεται το % σχετικό σφάλμα ως εξής:

$$\sigma = \frac{|X_M - X_\Pi|}{X_\Pi} 100\% = \frac{3}{50} 100\% = 6\%$$

Με βάση το κείμενο αυτό προσπαθήστε να απαντήσετε στο παρακάτω πρόβλημα.
Έστω δύο μαθητές Α, Β μέτρησαν με το επιταχυνσιόμετρο του κινητού τους τηλεφώνου την επιτάχυνση της βαρύτητας. Το αποτέλεσμα του μαθητή Α ήταν $9{,}98 m/s^2$, ενώ του Β ήταν $9{,}71 m/s^2$. Η βιβλιογραφία στον συγκεκριμένο τόπο δίνει την τιμή $9{,}81 m/s^2$. Εφαρμόζοντας αυτά που διαβάσατε στο προηγούμενο κείμενο υπολογίστε το *% σχετικό σφάλμα σε κάθε περίπτωση και* αποφασίστε ποιού μαθητή το κινητό μετρά με μεγαλύτερη ακρίβεια, εξηγώντας την απάντησή σας.

Βήμα 4

Στόχος: Η κατηγοριοποίηση των σφαλμάτων με βάση το ότι υπάρχουν σφάλματα που παραμένουν αμετάβλητα σε διαδοχικές μετρήσεις και άλλα σφάλματα που μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο.

Διαδικασία: Δίνεται η θεωρία της ταξινόμησης των σφαλμάτων σε συστηματικά και τυχαία από τον εκπαιδευτικό και ακολουθούν παραδείγματα που οι μαθητές συζητούν έτσι ώστε να τα εντάξουν σε κάποια από τις κατηγορίες.

Βήμα 4

Διαβάζουμε σε ένα σχολικό εργαστηριακό οδηγό το παρακάτω κείμενο.

Τα σφάλματα στις μετρήσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες.
(Α) Αυτά που παραμένουν αμετάβλητα σε διαδοχικές μετρήσεις. Οφείλονται κυρίως σε ατέλεια των οργάνων μέτρησης ή της μεθόδου που χρησιμοποιείται, αλλά μπορεί να οφείλονται και στον ίδιο τον πειραματιστή και ονομάζονται <u>συστηματικά σφάλματα</u>.
(Β) Αυτά που οφείλονται σε διάφορους απρόβλεπτους παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλονται τυχαία με το χρόνο, μπορεί να είναι αρνητικά ή θετικά και ονομάζονται <u>τυχαία σφάλματα.</u>

Σας δίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις σφαλμάτων.
(1) Ο δείκτης ενός αναλογικού ζυγού έχει μετατοπιστεί λίγο. Όταν δεν έχει τοποθετηθεί σώμα στο ζυγό ό δείκτης δεν είναι ακριβώς στο μηδέν.
(2) Μετράμε μήκη με ένα υποδεκάμετρο με κλίμακα από 0 έως 20cm, αλλά λόγω κάποιου προβλήματος στην κατασκευή του αυτό είναι στην πραγματικότητα περίπου 2mm μικρότερο.
(3) Μετράμε με χρονόμετρο τον χρόνο κίνησης ενός ηλεκτροκίνητου παιγνιδιού – αυτοκινήτου μεταξύ δύο θέσεων του δαπέδου της σχολικής αίθουσας. Επαναλαμβάνοντας τη μέτρηση δεν βρίσκουμε ίδια τιμή, γιατί ο χειριστής του χρονομέτρου μπορεί να «πατήσει» την έναρξη και το τέλος της μέτρησης ελάχιστα πριν ή μετά την διέλευση του αυτοκινήτου από την αρχική ή /και την τελική θέση.
Σε ποιες κατηγορίες θα κατατάσσατε το σφάλμα που αναφέρεται σε κάθε μια από τις παραπάνω τρεις περιπτώσεις και γιατί;

Βήμα 5

Στόχος: Η εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η μείωση των σφαλμάτων είναι εφικτή αλλά όχι ο μηδενισμός τους.

Διαδικασία: (Α) Συζήτηση πάνω στα προηγούμενα παραδείγματα για τον αν και πως είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μείωση των σφαλμάτων.

(Β) Τέλος, τίθεται το ερώτημα αν σε μια μέτρηση στο εργαστήριο μπορούμε να μηδενίσουμε τα σφάλματα. Οι μαθητές εκφέρουν τις απόψεις τους.

Βήμα 5

(Α) Συζητήστε τι θα μπορούσατε να κάνετε στις παραπάνω περιπτώσεις σφαλμάτων για να τα μειώσετε και να αναφέρετε συνοπτικά τα σημεία που καταλήξατε από τη συζήτηση.

(Β) Μπορούμε σε μια μέτρηση στο εργαστήριο να μηδενίσουμε τα σφάλματα; Αναφέρετε επιγραμματικά τις απόψεις σας.

Σημαντικά ψηφία (ΣΨ)-Στρογγυλοποίηση

Σχέδιο μαθήματος 2

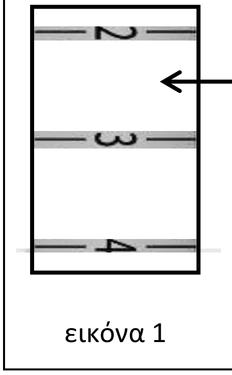
Βήμα 1

Στόχος: Η κατανόηση του ότι η αριθμητική τιμή ενός φυσικού μεγέθους γράφεται με αριθμό που είναι συμβατός με την ακρίβεια που γνωρίζουμε την τιμή του μεγέθους.

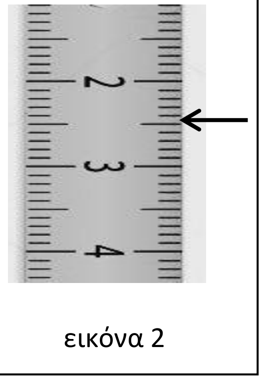
Διαδικασία: **(Α)** Δίνονται στους μαθητές δύο χάρακες με διαφορετική κλίμακα ο καθένας και ζητείται να καταγράψουν τον αριθμό που δείχνει το βελάκι (παρακάτω εικόνες). Γίνεται συζήτηση για το πόσα ψηφία θα έχει το αποτέλεσμα.

(Β) Δίνεται ο ορισμός των ΣΨ, με σύντομη εισήγηση του εκπαιδευτικού, και παρατίθενται παραδείγματα αριθμών με διαφορετικό πλήθος σημαντικών ψηφίων. Οι μαθητές ανατρέχουν στις προηγούμενες μετρήσεις με τους χάρακες και εκφράζουν πόσα σημαντικά ψηφία είχαν τα αποτελέσματα που κατέγραψαν.

(Γ) Οι μαθητές καλούνται να αποφανθούν για τα σημαντικά ψηφία αριθμών σε δοσμένα παραδείγματα.



εικόνα 1



εικόνα 2

Φύλλο εργασίας 2

Βήμα 1

(Α) Στην εικόνα φαίνεται η κλίμακα ενός χάρακα σε cm. (εικ.1)
(i) Γράψτε την τιμή που δείχνει ο δείκτης (βελάκι) με ένα αριθμό. Πόσα ψηφία μπορεί να έχει αυτός ο αριθμός και γιατί;
(ii) Να απαντήσετε στο ίδιο ερώτημα για την περίπτωση της εικόνας 2.

(Β) Διαβάζουμε σε ένα βιβλίο φυσικής ότι:

Σημαντικά ψηφία (ΣΨ) είναι τα ψηφία της αριθμητικής τιμής ενός φυσικού μεγέθους που γνωρίζουμε ότι είναι σωστά εκτός από το τελευταίο που υπάρχει πιθανότητα να μην είναι σωστό.
Είναι όλα τα ψηφία εκτός από τα συνεχόμενα μηδενικά στην αρχή του αριθμού.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα παρακάτω παραδείγματα ΣΨ

Αριθμός ΣΨ	**αριθμητικές τιμές**				
1	3	0,3	0,003	3.10^{5}	3.10^{-5}
2	15	0,18	0,020	$2,0.10^{-3}$	$0,99.10^{6}$
3	0,183	10,0	0,0201	$2,00.10^{3}$	$0,991.10^{6}$

Με βάση το παραπάνω κείμενο του βιβλίου φυσικής, γράψτε με πόσα σημαντικά ψηφία θα πρέπει να γραφτούν οι τιμές του δείκτη σε κάθε μια από τις περιπτώσεις των εικόνων 1 και 2.

(Γ) Συμπληρώστε τον αριθμό των ΣΨ στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμητική τιμή μεγέθους	0,32	0,320	$3,2.10^{6}$	$3,0.10^{-6}$	20,0
Αριθμός ΣΨ					

Βήμα 2

Στόχος: Εμπέδωση κανόνων καθορισμού του αριθμού των ΣΨ του αποτελέσματος πράξεων.

Διαδικασία: Γίνεται αναφορά των κανόνων που ισχύουν στον πολλαπλασιασμό/διαίρεση, στην πρόσθεση/αφαίρεση από το διδάσκοντα και πραγματοποιείται συζήτηση πάνω σε παραδείγματα που έχουν εφαρμοστεί ήδη οι κανόνες. Οι μαθητές κάνουν εφαρμογή των κανόνων εκ νέου σε αποτελέσματα πράξεων.

Βήμα 2

Διαβάζουμε στο εισαγωγικό κεφάλαιο ενός βιβλίου φυσικής, σχετικά με το πόσα ΣΨ έχει το αποτέλεσμα πράξεων, ότι ισχύουν οι παρακάτω κανόνες:

Κανόνας 1
Όταν το αποτέλεσμα προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό / διαίρεση δύο ή περισσοτέρων αριθμών, τότε αυτό δε μπορεί να έχει περισσότερα σημαντικά ψηφία από τον αριθμό που έχει τα λιγότερα.
Παράδειγμα: (-3,25Χ0,21) / 0,8 = - 0,9
(Το αποτέλεσμα δίνεται με 1 ΣΨ διότι ο αριθμός με τα λιγότερα ΣΨ είναι ο 0,8)
Κανόνας 2
Όταν το αποτέλεσμα προκύπτει από την πρόσθεση / αφαίρεση δυο ή περισσότερων αριθμών τότε βρίσκουμε την ελάχιστη τάξη των ψηφίων των αριθμών και επιλέγουμε τη μέγιστη μεταξύ αυτών. Αυτή θα είναι η ελάχιστη τάξη ψηφίων του αποτελέσματος.
Παράδειγμα: 10,00 1 + 0,0003 - 0,85 = 9,15
(Η ελάχιστη τάξη ψηφίων του 10,001 είναι χιλιοστά, του 0,0003 δεκάκις χιλιοστά και του 0,85 εκατοστά. Η μέγιστη από τις παραπάνω ελάχιστες τάξεις ψηφίων είναι τα εκατοστά)

Με βάση τους παραπάνω κανόνες να βρείτε τα αποτελέσματα των πράξεων
13,4 × 1,2 =……. 13,4 : 1,2 =…….
(1,68 × 1,37) : 2,15 =……

22,134 + 27,2 = ……. 27 - 22,935 = …….
5,0 – 2,795 = …….

Βήμα 3

Στόχος: Εμπέδωση κανόνων στρογγυλοποίησης αριθμών

Διαδικασία: Γίνεται υπενθύμιση των κανόνων της στρογγυλοποίησης από τον εκπαιδευτικό και μελετάται η εφαρμογή τους με παραδείγματα. Καλούνται οι μαθητές να κάνουν χρήση των κανόνων σε παραδείγματα που ζητείται το αποτέλεσμα να εκφραστεί με συγκεκριμένο πλήθος ΣΨ καθώς και να εφαρμόσουν στρογγυλοποίηση μετά από πράξεις συνδυαστικά με τους κανόνες των πράξεων από τη θεωρία των ΣΨ. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού παραμένει υποστηρικτικός σε περιπτώσεις υπενθύμισης των κανόνων.

Βήμα 3

Διαβάζουμε στο εισαγωγικό κεφάλαιο ενός βιβλίου φυσικής ότι όταν θέλουμε να στρογγυλοποιήσουμε ένα αποτέλεσμα σε μια τιμή με ορισμένο αριθμό ΣΨ τότε ακολουθούμε τους παρακάτω κανόνες.

Κανόνας 1
Αν το επόμενο από το τελευταίο ΣΨ είναι 0,1,2,3,4 τότε το τελευταίο ΣΨ μένει ως έχει.
Κανόνας 2
Αν το επόμενο από το τελευταίο ΣΨ είναι 5,6,7,8,9 τότε το τελευταίο ΣΨ αυξάνεται κατά 1.
Παραδείγματα
Στρογγυλοποίηση σε 2 ΣΨ: 1,42 ≅ 1,4 ή 1,46 ≅ 1,5
Στρογγυλοποίηση σε 3 ΣΨ: $1{,}432.10^3 \cong 1{,}43.10^3$ ***ή*** $1{,}506.10^3 \cong 1{,}51.10^3$

Με βάση τα παραπάνω παραδείγματα να στρογγυλοποιήσετε τον αριθμό 13,079 σε μια τιμή με
(α) 2ΣΨ: ……………. (β) 3ΣΨ: ……………..
(γ) 4ΣΨ: ……………..

Να βρείτε τα αποτελέσματα των παρακάτω πράξεων με τον κατάλληλο αριθμό ΣΨ
(16,41 × 1,3) : 2,18 = ……………….
10,31 : 4,0 = ……………….

10,31 : 4 = ……………….
3,062 + 7,1 = ……………….

23,276 – 4,73 + 10,5 = ……………….

Αβεβαιότητα μέτρησης

Σχέδιο μαθήματος 3

Βήμα 1

Στόχος: Κατανόηση του ότι η μέτρηση αποκτά νόημα όταν συνοδεύεται από τη γνώση της αβεβαιότητας της.

Διαδικασία: **(Α)** Οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν αν και κατά πόσο διαφέρουν τα αποτελέσματα της μέτρησης δύο αντιστατών από όμοια ωμόμετρα. Γίνεται συζήτηση και παραθέτουν τις απόψεις τους. Στο δεύτερο σκέλος του προβλήματος δίνεται η ακρίβεια του οργάνου μέτρησης και το ίδιο ερώτημα τίθεται ξανά. Αντίστοιχα μεσολαβεί συζήτηση για να δοθεί η απάντηση. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός-υποστηρικτικός.

(Β) Γίνεται γνωστό το θεωρητικό υπόβαθρο για την αβεβαιότητα από τον εκπαιδευτικό και στη συνέχεια δίνεται παράδειγμα όπου οι μαθητές εφαρμόζουν τον τύπο της σχετικής αβεβαιότητας σε μετρήσεις έτσι ώστε να προβούν σε σύγκριση αβεβαιοτήτων.

Φύλλο εργασίας 3

Βήμα 1

(Α) Η καθηγήτρια της φυσικής έδωσε σε δύο μαθήτριες **Α**, **Β**, από ένα ψηφιακό ωμόμετρο του εργαστηρίου να μετρήσουν την τιμή της αντίστασης ενός αντιστάτη. Η καθηγήτρια έδωσε πρώτα ένα αντιστάτη στην **Α** μαθήτρια και αποτέλεσμα της μέτρησης ήταν **434Ω**. Στη συνέχεια η καθηγήτρια πήρε πίσω τον αντιστάτη και έδωσε στην μαθήτρια **Β** <u>τον ίδιο ή έναν άλλο παρόμοιο</u> αντιστάτη. Η μέτρηση της μαθήτριας **Β** ήταν **437Ω**. Η καθηγήτρια ζήτησε από τους μαθητές της τάξης να αποφανθούν αν έδωσε στις **Α** και **Β** <u>τον ίδιο ή ένα άλλο παρόμοιο</u> αντιστάτη. Τι θα απαντούσατε στο ερώτημα;
Στη συνέχεια ανακαλύψατε στις οδηγίες χρήσης των οργάνων ότι η ακρίβειά τους είναι ±2% (δηλαδή υπάρχει αβεβαιότητα στην μέτρηση που αντιστοιχεί περίπου σε ±9Ω για τις παραπάνω τιμές). Με αυτή την πληροφορία τι θα απαντούσατε τώρα στο προηγούμενο ερώτημα;

(Β) Σε ένα εργαστηριακό οδηγό αναφέρονται τα παρακάτω:

Η αβεβαιότητα αποτελεί αναπόφευκτο στοιχείο μιας μέτρησης. Για να αποκτήσει νόημα μια μέτρηση πρέπει να συνοδεύεται τη γνώση της αβεβαιότητάς της. Με άλλα λόγια, ο πειραματιστής πρέπει να έχει εκτίμηση του φάσματος τιμών μεταξύ των οποίων βρίσκεται η πραγματική τιμή του φυσικού μεγέθους που μετρά. Προφανώς πρέπει να γίνεται προσπάθεια για την μείωση της αβεβαιότητας σε μια μέτρηση, η οποία όμως δεν μπορεί να μηδενιστεί.
Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης πρέπει να γράφεται στη μορφή

$$x \pm \Delta x$$

όπου x η καλύτερα εκτιμώμενη τιμή για το μετρούμενο μέγεθος και Δx η <u>απόλυτη τιμή της αβεβαιότητας</u>. Δηλαδή, με αυτή τη γραφή δηλώνεται ότι η πραγματική τιμή του μεγέθους x_o, με πολύ μεγάλη πιθανότητα, είναι πλησίον της τιμής x και βρίσκεται μέσα στην περιοχή τιμών από x-Δx έως x+Δx.
Στην πράξη χρησιμοποιείται συχνά και η <u>σχετική αβεβαιότητα</u>

$$\frac{\Delta x}{|x|}$$

ή η <u>% σχετική αβεβαιότητα</u>

$$\frac{\Delta x}{|x|}100\%$$

με τις οποίες μπορεί να γίνει σύγκριση αβεβαιοτήτων μεταξύ μετρήσεων. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της σχετικής αβεβαιότητας τόσο ακριβέστερη λέμε ότι είναι η μέτρηση.

Αφού μελετήσετε το παραπάνω κείμενο σας δίνεται το αποτέλεσμα της μέτρησης του μήκους ενός βιβλίου (23,4±0,2)cm και ενός τετραδίου (17,3±0,2)cm. Ποια από τις δύο μετρήσεις είναι πιο ακριβής; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Βήμα 2

Στόχος: Υπολογισμός αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με αναλογικό όργανο.

Διαδικασία: Η εύρεση της τιμής όταν πραγματοποιείται μέτρηση με αναλογικά όργανα καθώς και ο τρόπος εκτίμησης της αβεβαιότητας παρουσιάζονται από τον εκπαιδευτικό συζητώντας με παραδείγματα. Οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν το αποτέλεσμα μιας μέτρησης με ένα αναλογικό βολτόμετρο. Ο εκπαιδευτικός παρακινεί συζήτηση για το τι εκφράζουν οι δοσμένοι τύποι.

Βήμα 2

Αναλογικά όργανα ονομάζουμε αυτά που έχουν κλίμακα μέτρησης και δείκτη. Το όργανο δεν αναγράφει το αποτέλεσμα της μέτρησης αλλά ο πειραματιστής το προσδιορίζει με εκτίμηση από τη θέση του δείκτη.
Σε ένα εργαστηριακό οδηγό αναφέρονται, σχετικά με τις μετρήσεις με αναλογικά όργανα, τα παρακάτω:

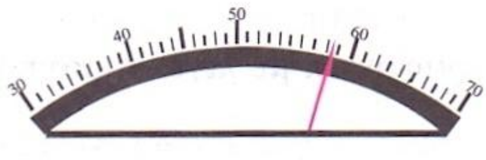
Αν ο πειραματιστής εκτιμά ότι η τιμή που «διαβάζει» είναι μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής x_{min} και μιας μέγιστης x_{max} , τότε η εκτίμηση για τη μέτρηση είναι

$$x = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}$$

Και η αβεβαιότητα

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}$$

Το αποτέλεσμα της μέτρησης γράφεται $x \pm \Delta x$
Ένας πρακτικός κανόνας είναι ο πειραματιστής να γράφει ως x την καλύτερη κατ΄ αυτόν εκτίμηση και ως Δx να θεωρεί το μισό της απόστασης μεταξύ των δύο πλησιέστερων γραμμών της κλίμακας του οργάνου.



Με βάση τα παραπάνω γράψτε το αποτέλεσμα της μέτρησης μιας ηλεκτρικής τάσης σε V, με το αναλογικό βολτόμετρο που παριστάνεται στην εικόνα.

Βήμα 3

Στόχος: Υπολογισμός αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με ψηφιακό όργανο.

Διαδικασία: Ο εκπαιδευτικός εξηγεί τα ψηφιακά όργανα και τον υπολογισμό της αβεβαιότητας κατά τις μετρήσεις με αυτά. Γίνεται συζήτηση πάνω στον λόγο και τον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται η αβεβαιότητα όταν δεν δίνεται από τον κατασκευαστή του οργάνου. Ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν το αποτέλεσμα από την ένδειξη ενός ψηφιακού θερμομέτρου (δεν δίνεται η ακρίβεια του οργάνου από τον κατασκευαστή) μαζί με την αβεβαιότητά της.

Βήμα 3

Στον προαναφερόμενο εργαστηριακό οδηγό αναγράφεται:

Ψηφιακό όργανο ονομάζουμε αυτό στο οποίο αναγράφεται το αποτέλεσμα της μέτρησης με ένα αριθμό σε μία οθόνη. Για παράδειγμα, η ένδειξη της ηλεκτρονικής ζυγαριάς της εικόνας κατά τη ζύγιση ενός σώματος μπορεί είναι 14,5g. Παρατηρούμε ότι στην ζυγαριά αναφέρεται και η τιμή της αβεβαιότητας 0,1g. Συνεπώς μπορούμε να γράψουμε το αποτέλεσμα της μέτρησης στη μορφή (14,5 ± 0,1)g. Τίθεται όμως το ερώτημα: Αν δεν δίνεται από τον κατασκευαστή η αβεβαιότητα τι κάνουμε στην πράξη στο εργαστήριο; Ας υποθέσουμε ότι στο παράδειγμά μας δεν δινόταν η αβεβαιότητα 0,1g. Σε αυτή την περίπτωση δεν γνωρίζουμε αν το τελευταίο ψηφίο προκύπτει από στρογγυλοποίηση για να υποθέσουμε ότι η τιμή είναι μεταξύ 14,45g και 14,54 g ή είναι το τελευταίο ψηφίο της ακρίβειας του οργάνου, δηλαδή η μέτρηση να είναι μεταξύ του 14,50 g και του 14,59 g. Για το λόγο αυτό, καλά είναι σε αυτή την περίπτωση να θεωρούμε την αβεβαιότητα όσο μια μονάδα του τελευταίου ψηφίου της ένδειξης. Δηλαδή, και πάλι στο παράδειγμά μας θα γράφαμε το αποτέλεσμα ως (14,5 ± 0,1)g.

Με βάση τα παραπάνω γράψτε το αποτέλεσμα της μέτρησης της θερμοκρασίας, με το ψηφιακό θερμόμετρο που παριστάνεται στην εικόνα.

Επανάληψη μέτρησης-Μέση τιμή-Αβεβαιότητα

Σχέδιο μαθήματος 4

Βήμα 1

Στόχος: Εμπέδωση της έννοιας της μέσης τιμής και του ότι αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων εργαστηριακών μετρήσεων.

Διαδικασία: **(Α)** Δίνεται παράδειγμα στο οποίο παρατίθενται διαφορετικές μετρήσεις χρόνου που πραγματοποιήθηκαν από χρονόμετρο για τη μελέτη του χρονικού διαστήματος που χρειάζεται μια μπίλια για να διανύσει δεδομένη απόσταση. Το ερώτημα που τίθεται προς τους μαθητές είναι αν οι διαφορετικές αυτές μετρήσεις οφείλονται σε συστηματικά ή τυχαία σφάλματα. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι υποστηρικτικός σε περίπτωση που χρειάζεται υπενθύμιση των κατηγοριών των σφαλμάτων. Οι μαθητές συζητούν και κατατάσσουν την παραπάνω περίπτωση σε συστηματικό ή σε τυχαίο σφάλμα.

(Β) Στη συνέχεια του παραδείγματος τίθεται το ερώτημα για το ποια είναι η καλύτερη εκτίμηση για τις μετρήσεις. Πραγματοποιείται συζήτηση και οι μαθητές παραθέτουν τις απόψεις τους.

(Γ) Γίνεται σύντομη υπενθύμιση από τον εκπαιδευτικό για τη θεωρία της μέσης τιμής καθώς και για τον μαθηματικό της τύπο. Οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν τη μέση τιμή στο παράδειγμα που προηγήθηκε.

Φύλλο εργασίας 4

Βήμα 1

(Α) Μία ομάδα μαθητών μέτρησαν με χρονόμετρο χειρός το χρόνο που χρειάζεται μια μπίλια να διανύσει δεδομένη απόσταση. Βρήκαν με την πρώτη μέτρηση 4,8s. Επανέλαβαν ακριβώς το ίδιο πείραμα για επαλήθευση και βρήκαν 4,1s. Η διαφορά τους προβλημάτισε και επανέλαβαν την πειραματική διαδικασία άλλες τέσσερες φορές. Οι τιμές για τις έξι συνολικά μετρήσεις ήταν:

t_1= 4,8s, t_2= 4,1s, t_3= 4,4s, t_4= 5,1s,
t_5= 4,3s, t_6= 5,1s

Συζητήστε σχετικά με τον αν οι παραπάνω διαφορές μπορεί να οφείλονται σε συστηματικά ή τυχαία σφάλματα. Γράψτε συνοπτικά τις απόψεις σας.

(Β) Οι μαθητές στη συνέχεια συζήτησαν για το ποια θα ήταν η καλύτερη εκτίμηση για τις μετρήσεις τους ώστε να γράψουν ένα αποτέλεσμα. Είπαν διάφορες απόψεις όπως:
Να θεωρήσουν ως καλύτερη εκτίμηση
-την μέση τιμή ή
-την πιο συχνά εμφανιζόμενη (εδώ 5,1s) ή
-να πάρουν τον μέσο όρο της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής.
Εσείς τι λέγατε στη θέση τους. Καταγράψτε συνοπτικά τις απόψεις σας.

(Γ) Τελικά οι μαθητές κατέφυγαν στο εργαστηριακό οδηγό τους όπου διάβασαν:

Στην πράξη για τη μείωση των τυχαίων σφαλμάτων μπορεί μια μέτρηση να επαναληφθεί πολλές φορές και στη συνέχεια ως αποτέλεσμα να θεωρήσουμε τη μέση τιμή αυτών των μετρήσεων. Η μέση τιμή $\bar{x}$, των αποτελεσμάτων $x_1, x_2, \ldots x_\nu$ μιας μέτρησης που επαναλαμβάνεται ν φορές δίνεται από τη σχέση

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_\nu}{\nu}$$

Η μέση τιμή είναι η καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή x_o που μπορούμε να κάνουμε στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων.

Υπολογίστε τη μέση τιμή $\bar{t}$ των παραπάνω έξι μετρήσεων για το χρόνο κίνησης της μπίλιας.

Βήμα 2

Στόχος: Υπολογισμός αβεβαιότητας κατά τη λήψη επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

Διαδικασία: (Α) Με βάση το παράδειγμα αυτής της ενότητας ο εκπαιδευτικός εισάγει την έννοια της αβεβαιότητας της μέσης τιμής καθώς και την απόκλιση μιας μέτρησης από τη μέση τιμή έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο υπολογισμός της αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα υπολογίζεται κλιμακωτά καθώς οι μαθητές με προτροπή του διδάσκοντα αρχικά υπολογίζουν τις αποκλίσεις. Στη συνέχεια τους καθοδηγεί στον υπολογισμό της μέσης τιμής των αποκλίσεων έτσι ώστε να δοθεί το αποτέλεσμα της αβεβαιότητας της μέσης τιμής. Ακολουθεί συζήτηση πάνω στη διαδικασία υπολογισμού, οι μαθητές εκφράζουν απόψεις σχετικά με την κατανόηση της διαδικασίας και δίνονται διευκρινίσεις.

(Β) Το επόμενο θεωρητικό κομμάτι που παρατίθεται από τον εκπαιδευτικό έχει να κάνει με τον τρόπο γραφής του αποτελέσματος της μέσης τιμής και της αβεβαιότητας που υπολογίστηκαν προηγουμένως. Πάνω σε δοσμένο παράδειγμα εξηγείται ο λόγος που η αβεβαιότητα εκφράζεται με ένα ΣΨ και η μέση τιμή με την αντίστοιχη ακρίβεια. Οι μαθητές κάνουν εφαρμογή στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς τους.

(Γ) Οι μαθητές καλούνται να εφαρμόσουν τη νέα γνώση σε πρόβλημα που δίνονται τα αποτελέσματα επαναλαμβανόμενης μέτρησης. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός και υποστηρικτικός σε περίπτωση που χρειάζεται κάποια υπενθύμιση ή διευκρίνιση.

Βήμα 2

(Α) Οι μαθητές που βρήκαν την μέση τιμή προβληματίστηκαν για το πώς θα υπολογίσουν την αβεβαιότητα προκειμένου να γράψουν το τελικό αποτέλεσμα. Στο εργαστηριακό τους οδηγό προτείνεται να θεωρήσουν ως αβεβαιότητα την μέση τιμή των αποκλίσεων των μετρήσεών τους από τη μέση τιμή. Απόκλιση μιας μέτρησης από την μέση τιμή είναι η απόλυτη τιμή της διαφοράς αυτής της τιμής από την μέση τιμή.
Υπολογίστε και εσείς την απόκλιση των παραπάνω έξι μετρήσεων του χρόνου από την μέση τιμή. Δηλαδή,
$|t_1 - \bar{t}|$ = …. $|t_2 - \bar{t}|$ = …. $|t_3 - \bar{t}|$ = ….
$|t_4 - \bar{t}|$ = …. $|t_5 - \bar{t}|$ = …. $|t_6 - \bar{t}|$ = ….
Στη συνέχεια υπολογίστε την αβεβαιότητα δt θεωρώντας ότι είναι η μέση τιμή των παραπάνω αποκλίσεων

(Β) Τέλος στον εργαστηριακό οδηγό αναφέρεται το παρακάτω κείμενο:

Για τον περιορισμένο αριθμό μετρήσεων που συνήθως λαμβάνεται στο σχολικό εργαστήριο η αβεβαιότητα Δx δεν έχει έννοια να δίνεται με περισσότερα από ένα ΣΨ. Τότε στην παρουσίαση του αποτελέσματος και η μέση τιμή θα δίνεται και αυτή με την ακρίβεια της αβεβαιότητας. Για παράδειγμα, σε μία μέτρηση μήκους έχουμε βρει $\bar{x}$=24,17m και με τον υπολογιστή έχουμε βρει Δx=0,423m. Τότε στρογγυλοποιούμε την αβεβαιότητα με 1ΣΨ, οπότε προκύπτει Δx=0,4m και άρα η μέση τιμή θα στρογγυλοποιηθεί στο ένα δέκατο του μέτρου, δηλαδή $\bar{x}$=24,2m. Τελικά γράφουμε το αποτέλεσμα στη μορφή (24,2±0,4)m.

Με βάση αυτό το κείμενο γράψτε το τελικό αποτέλεσμα για την τιμή του χρόνου κίνησης της μπίλιας που υπολογίσατε προηγουμένως την μέση τιμή και την αβεβαιότητα.
Μέση τιμή $\bar{t}$ = ……………………
Αβεβαιότητα Δt=……………………

(Γ) Σε ένα πείραμα μέτρησης της περιόδου T ενός εκκρεμούς οι μαθητές επανέλαβαν την μέτρηση 5 φορές και βρήκαν τις τιμές

2,2s – 1,9s – 1,8s – 2,3s – 2,1 s

Να κάνετε τους υπολογισμούς και να γράψετε το αποτέλεσμα στη μορφή

$$\bar{T} \pm \Delta T$$

Η διάδοση της αβεβαιότητας

Σχέδιο μαθήματος 5

Βήμα 1

Στόχος: Η εύρεση της αβεβαιότητας στην τιμή μεγέθους που προκύπτει ως άθροισμα ή διαφορά άλλων μεγεθών.

Διαδικασία: **(Α)** Δίνεται παράδειγμα στο οποίο οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν συνολικό μήκος ράβδου από την ένωση δύο άλλων ράβδων. Γίνεται συζήτηση με τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει ο υπολογισμός της νέας τιμής και της αβεβαιότητας. Ο εκπαιδευτικός είναι απλός παρατηρητής αφήνει τους μαθητές να εκφράσουν γνώμες.

Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τους μαθηματικούς τύπους από το διδάσκοντα και οι μαθητές προβαίνουν σε σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την εφαρμογή των τύπων.

(Β) Αντίστοιχο παράδειγμα με την περίπτωση του αθροίσματος δίνεται και για την περίπτωση της αφαίρεσης και οι μαθητές καλούνται ξανά να εκτιμήσουν το αποτέλεσμα της νέας τιμής και της αβεβαιότητάς. Ο εκπαιδευτικός και αυτή τη φορά δεν παίρνει θέση και αφήνει τους μαθητές να εκφράσουν τις απόψεις τους.

Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τους μαθηματικούς τύπους από τον εκπαιδευτικό και οι μαθητές προβαίνουν σε σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την εφαρμογή των τύπων.

Φύλλο εργασίας 5

Βήμα 1

(Α) (i) Σας δίνονται δύο ράβδοι των οποίων τα μήκη μετρήθηκαν και οι τιμές που σας δόθηκαν είναι (3,5±0,1) cm και (5,4±0,2)cm. Αν οι δύο ράβδοι ενωθούν ώστε να κάνουν μια μεγάλη ράβδο, πως θα γράφατε το αποτέλεσμα για το μήκος L της μεγάλης ράβδου με τη μορφή $L\pm\Delta L$; Αιτιολογείστε την άποψή σας.

(ii) Σε ένα εργαστηριακό οδηγό αναφέρεται:

Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε πειραματικά ένα μέγεθος f το οποίο προκύπτει από μια γνωστή σχέση δύο ή περισσότερων άλλων μεγεθών x,y,… των οποίων μπορούμε να μετρήσουμε πειραματικά τις τιμές. Για παράδειγμα, σε ένα πείραμα μετράμε το διάστημα που διανύει είναι σώμα και τον αντίστοιχο χρόνο και θέλουμε να υπολογίσουμε την μέση ταχύτητα, που ξέρουμε ότι ορίζεται ως το πηλίκο των παραπάνω μεγεθών. Τίθεται όμως το ερώτημα: Αν Δx,Δy,… οι τιμές της αβεβαιότητας για τα μετρήσιμα μεγέθη, ποια είναι αβεβαιότητα Δf για το μέγεθος f;…. Ας υπολογίσουμε το Δf προσεγγιστικά σε κάποιες περιπτώσεις.

(1) Η περίπτωση του αθροίσματος

Αν είναι f=x+y τότε έχουμε ότι Δf= Δx+Δy

Πράγματι μπορούμε να γράψουμε

$$(x\pm \Delta x)+(y\pm \Delta y)= (x+y) \pm (\Delta x +\Delta y)$$

Να συγκρίνετε την προηγούμενη απάντησή σας με αυτό που αναφέρει ο οδηγός. Καταλήξατε στο ίδιο αποτέλεσμα; Αν όχι σε τι διαφέρει το σκεπτικό σας;

(Β) (i) Στο εργαστήριο φυσικών επιστημών του σχολείου τους μια ομάδα τριών μαθητών τοποθέτησε πάνω στο δίσκο του ηλεκτρονικού ζυγού ένα ογκομετρικό κύλινδρο και κατέγραψε την τιμή της μάζας του m_1 = (120,5±0,1) g. Στην συνέχεια ζύγισαν τον ογκομετρικό κύλινδρο μαζί με το νερό που έριξαν μέσα σ’ αυτόν και κατέγραψαν τη νέα τιμή της μάζας m_2 = (195,6±0,1) g. Πως θα υπολογίζατε τη μάζα του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο στηριζόμενοι στις παραπάνω τιμές; Αιτιολογείστε την άποψή σας.

(ii) Ο πειραματικός οδηγός σε συνέχεια του προηγούμενου κειμένου αναφέρει

(2) Η περίπτωση της διαφοράς

Αν είναι f=x-y τότε πάλι έχουμε ότι Δf= Δx+Δy

Πράγματι είναι

$$(x\pm \Delta x) - (y\pm \Delta y)= (x-y)\pm (\Delta x +\Delta y)$$

Να συγκρίνετε την προηγούμενη απάντησή σας με αυτό που αναφέρει ο οδηγός. Καταλήξατε στο ίδιο αποτέλεσμα; Αν όχι σε τι διαφέρει το σκεπτικό σας;

Βήμα 2

Στόχος: Η εύρεση της αβεβαιότητας στην τιμή μεγέθους που προκύπτει ως γινόμενο ή πηλίκο άλλων μεγεθών.

Διαδικασία: (Α) Συνεχίζοντας στο ίδιο μοτίβο δίνεται στους μαθητές παράδειγμα στο οποίο τους ζητείτε να υπολογίσουν τη νέα τιμή και την αβεβαιότητα όπως αυτές προκύπτουν μέσα από πολλαπλασιασμό της μετρήσιμης τιμής με μια σταθερά. Εκφράζουν τις απόψεις τους.
Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τους μαθηματικούς τύπους από τον εκπαιδευτικό και οι μαθητές προβαίνουν σε σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την εφαρμογή των τύπων.

(Β) Ο εκπαιδευτικός κάνει σύντομη αναφορά στη θεωρία γύρω από τις περιπτώσεις του γινομένου και του πηλίκου δύο φυσικών μεγεθών και παραθέτει τους μαθηματικούς τύπους. Οι μαθητές καλούνται να κάνουν εφαρμογή των τύπων σε αντίστοιχα παραδείγματα.

Βήμα 2

(Α) Σας δίνονται πέντε ίδιοι αντιστάτες με τιμή αντίστασης R = (340±2)Ω ο καθένας. Αν οι αντιστάτες συνδεθούν στη σειρά γνωρίζουμε ότι προκύπτει αντιστάτης με αντίσταση όσο το άθροισμα των αντιστατών (Εδώ είναι $R_{ολ}=5R$). Με βάση τα προηγούμενα υπολογίστε την αβεβαιότητα στην τιμή της αντίστασης του συστήματος των 5 αντιστατών.
Ο πειραματικός οδηγός σε συνέχεια του προηγούμενου κειμένου αναφέρει

(3) Η περίπτωση του γινομένου φυσικού μεγέθους επί σταθερά
Αν είναι f=α.x, όπου α μία σταθερά τότε έχουμε ότι Δf= |α|.Δx
Πράγματι μπορούμε να γράψουμε

$$\alpha(x\pm \Delta x)= \alpha x\pm |\alpha|\Delta x$$

Να συγκρίνετε την προηγούμενη απάντησή σας με αυτό που αναφέρει ο οδηγός. Καταλήξατε στο ίδιο αποτέλεσμα; Αν όχι σε τι διαφέρει το σκεπτικό σας;

(Β) Ο πειραματικός οδηγός σε συνέχεια του προηγούμενου κειμένου αναφέρει

(4) Η περίπτωση του γινομένου
Αν είναι f=x.y τότε έχουμε ότι $\Delta f= |x.y|(\frac{\Delta x}{|\chi|}+\frac{\Delta y}{|y|})$
Πράγματι θεωρώντας αμελητέο το γινόμενο Δx.Δy μπορούμε να γράψουμε

$$(x\pm \Delta x).(y\pm \Delta y)=(xy)\pm|xy|(\frac{\Delta x}{|\chi|}+\frac{\Delta y}{|y|})$$

****Παρόμοια για το πηλίκο προκύπτει:***
Αν είναι f=x:y τότε έχουμε ότι $\Delta f=|x:y|(\frac{\Delta x}{|\chi|}+\frac{\Delta y}{|y|})$
***** Γενικά αν*** $f=x^n y^m z^k\ldots$ ***μπορούμε με καλή προσέγγιση να γράφουμε***

$$\frac{\Delta f}{|f|}=\left|n\frac{\Delta x}{x}\right|+\left|m\frac{\Delta y}{y}\right|+\left|k\frac{\Delta z}{z}\right|+\ldots$$

(i) Σας δίνεται ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο σε σχήμα ορθογωνίου. Τα μήκη των πλευρών του μετρήθηκαν και οι τιμές τους είναι x = (10,5±0,1) cm και y = (16,4±0,2) cm.
Να υπολογίσετε και να αναγράψετε το εμβαδόν της επιφάνειας του μεταλλικού φύλλου με τη μορφή (*Ε ± ΔΕ).*
(ii) Η ομάδα μαθητών που έκανε αρχικά τις μετρήσεις των μαζών (βήμα 1Bi), στη συνέχεια κατέγραψε την τιμή του όγκου του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο

$$V = (73{,}8 \pm 0{,}5)\ \text{ml}$$

Με βάση το προηγούμενο κείμενο υπολογίστε την αβεβαιότητα στην τιμή της πυκνότητας που δίνεται από τη σχέση $\rho = \frac{m}{V}$ και να γραφεί στη μορφή (*ρ±Δρ).*
(Χρησιμοποιείστε τη μάζα του νερού που υπολογίσατε στο βήμα 1 (Β))

4.3 Τα ευρήματα του 2ου σταδίου της έρευνας

Σε πρώτη φάση γίνεται συνοπτικά η περιγραφή κάθε βήματος ανά μάθημα και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ευρήματα. Για διευκόλυνση των αναγνωστών στη αρχή κάθε βήματος αναφέρεται ξανά ο στόχος και η διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Μάθημα 1^{ο} – Μέτρηση - Σφάλμα

Βήμα 1

Στόχος: Η εξαγωγή του συμπεράσματος από τους μαθητές ότι η λήψη μετρήσεων αποτελεί μια από τις θεμελιώδεις επιστημονικές διαδικασίες.

Διαδικασία: Συζήτηση με τους μαθητές πάνω στις απόψεις τους, για ποιο λόγο οι επιστήμονες εκτελούν μετρήσεις αλλά και για τη μέτρηση στην καθημερινότητα. Καταγραφή απόψεων και συμπερασμάτων.

Σύντομη περιγραφή: Οι μαθητές στη συγκεκριμένη ερώτηση υποστήριξαν πως οι επιστήμονες πραγματοποιούν μετρήσεις για να διαπιστώσουν πειραματικά τα αντικείμενα της μελέτης τους. Οι διατυπώσεις τους ποικίλουν, χρησιμοποιούν εκφράσεις όπως «να αποδείξουν ότι κάτι ισχύει», «να κάνουν επαλήθευση ή εξακρίβωση», «να ανακαλύψουν ή να εξετάσουν φαινόμενα», «να έχουν πιο ακριβή αποτελέσματα με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις». Επίσης κατά τη διάρκεια της συζήτησης όταν το ίδιο ερώτημα τέθηκε στα πλαίσια της καθημερινότητας, δηλαδή γιατί οι ίδιοι ενδεχομένως θα μπορούσε να πραγματοποιήσουν μετρήσεις οι απαντήσεις που δόθηκαν ήταν οι εξής: «μέτρηση μήκους, μάζας, όγκου, εμβαδού, ταχύτητας, ύψους και απόστασης».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φάνηκε να αναγνωρίζουν ότι η εκτέλεση μετρήσεων είναι μια σημαντική επιστημονική διαδικασία την οποία συνδέουν με τη διαδικασία της εκτέλεσης πειραμάτων και την εργαστηριακή φύση της Φυσικής.

Βήμα 2

Στόχος: Η εισαγωγή του «ορισμού» της μέτρησης, δηλαδή ότι η μέτρηση αποσκοπεί στον καθορισμό ενός φυσικού μεγέθους σχετικά με μια ορισμένη μονάδα μέτρησης.

Διαδικασία(Α): Καλούνται οι μαθητές να πραγματοποιήσουν μέτρηση των διαστάσεων ενός βιβλίου με χάρακα και να καταγράψουν το αποτέλεσμα της μέτρησής τους.

Σύντομη περιγραφή: Σε όλες τις ομάδες μαθητών δόθηκε το ίδιο βιβλίο για να μετρήσουν τις διαστάσεις του. Σύμφωνα με τις απαντήσεις παρατηρούμε πως διαφέρουν ως προς το δεκαδικό ψηφίο δηλαδή τα χιλιοστά. Μόνο οι δύο από τις τέσσερις ομάδες βάλανε μονάδες μέτρησης δίπλα από το αριθμητικό αποτέλεσμα. Οι άλλες δύο ομάδες μετά από παρατήρηση του εκπαιδευτικού συμπληρώσανε σωστά τις μονάδες μέτρησης δείχνοντας ότι απλά το ξέχασαν. Δύο χαρακτηριστικά σχόλια των μαθητών ήταν: «Βάζω το χάρακα πάνω στο βιβλίο να δω ότι ξεκινάω από το 0», «Να μετρήσουμε σε cm;».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές στο σύνολο φάνηκε να γνωρίζουν ότι το αποτέλεσμα της μέτρησης απαιτεί και την αναγραφή της μονάδας μέτρησης, ωστόσο στην πράξη το αγνόησαν. Συνεπώς απαιτείται επιμονή από τη μεριά των εκπαιδευτικών στο θέμα της αναγραφής των μονάδων.

Διαδικασία (Β): Γίνεται συζήτηση πάνω στο τι δείχνει το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, δηλαδή τη σχέση του μεγέθους με την αντίστοιχη μονάδα. Καταγραφή απόψεων και συμπερασμάτων.

Σύντομη περιγραφή: Η συγκεκριμένη ερώτηση (Δες φύλλο εργασίας) δυσκόλεψε αρκετά τους περισσότερους μαθητές. Αναφέρθηκαν στο μέγεθος «μάζα» και όχι στο αποτέλεσμα της μέτρησης, δηλαδή ότι η μετρήσιμη μάζα είναι 65 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του 1Kg. Χαρακτηριστική απάντηση που δόθηκε από τρεις μαθητές και υποστηρίχτηκε και από άλλους της ίδιας ομάδας του κάθε μαθητή ήταν: «η μάζα είναι 65kg, δεν μετράει βάρος». Επέστησαν την προσοχή τους στο να διευκρινίσουν τη διαφορά ανάμεσα στη μάζα και τη δύναμη του βάρους. Άλλοι τρεις μαθητές από διαφορετική ομάδα ο καθένας επέμεναν ουσιαστικά στο προφανές ότι η μάζα, το σύνολο του ανθρώπου ισοδυναμεί με 65 kg. Μια πρωτότυπη άποψη ενός μαθητή ήταν να κάνει τον διαχωρισμό των 65 kg σε 40 kg μυϊκή μάζα και 25kg λίπος, βασιζόμενος στο ότι η ένδειξη της ζυγαριάς απεικονίζει ανθρώπινη μάζα. Απαιτήθηκε η διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού προκειμένου να καταλάβουν τη διατύπωση της ερώτησης. Μόνο δύο μαθητές ήταν σε θέση να δώσουν απάντηση μετά την φράση του εκπαιδευτικού: «Η μάζα είναι 65 φορές μεγαλύτερη από…» και απάντησαν «το 1kg».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές δυσκολεύτηκαν σε αυτή την ερώτηση καθώς επέστησαν την προσοχή τους στο διαχωρισμό της έννοιας της μάζας από του βάρους. Όταν τελικά δόθηκε η σωστή απάντηση φάνηκε να την δέχονται χαρακτηρίζοντάς τη «λογική» υποστηρίζοντας όμως ότι δεν σκέφτηκαν προς αυτή την κατεύθυνση όταν διάβασαν την ερώτηση.

<u>Βήμα 3</u>

Στόχος: Η διασαφήνιση του ότι το σφάλμα μιας μέτρησης δεν είναι λάθος, αλλά αναπόφευκτο στοιχείο μιας μέτρησης.

Διαδικασία (Α):Δίνεται παράδειγμα στο οποίο εισάγεται η έννοια του απόλυτου σφάλματος της μέτρησης και ακολουθεί συζήτηση πάνω στις πιθανές αιτίες δημιουργίας του. Οι μαθητές καλούνται να εντοπίσουν τη διαφορά του περιεχομένου των λέξεων σφάλμα και λάθος. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός-υποστηρικτικός.

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτή την ερώτηση όλες οι ομάδες αρχικά δώσανε μια κοινή απάντηση: «το σακουλάκι έχει μάζα». Στη πορεία της συζήτησης με καθοδήγηση του εκπαιδευτικού οι τρεις από τις τέσσερις ομάδες σκέφτηκαν και έδωσαν σαν απάντηση ότι το σφάλμα μπορεί να οφείλεται στην ακρίβεια του οργάνου, της ζυγαριάς ή σε σφάλμα ανάγνωσης του πειραματιστή που καταγράφει τη μέτρηση από μια αναλογική ζυγαριά. Μια χαρακτηριστική απάντηση για την περιγραφή του σφάλματος ανάγνωσης ήταν: «η βελόνα τρεμοπαίζει». Η τέταρτη ομάδα δεν έδωσε αντίστοιχη απάντηση επέμενε στην αρχική ότι το σακουλάκι έχει μάζα. Το δεύτερο σκέλος της ερώτησης δυσκόλεψε τους μαθητές καθώς μπορούσαν να δώσουν μονολεκτική απάντηση αλλά όχι να την τεκμηριώσουν με ευκολία. Υποστήριξαν όλοι ότι οι λέξεις «σφάλμα» και «λάθος» έχουν διαφορετική έννοια. Με βοήθεια από το εκπαιδευτικό οι περισσότεροι μαθητές κατάλαβαν τη φύση της ερώτησης και απάντησαν ότι το σφάλμα μπορεί να συνδέεται περισσότερο, για παράδειγμα, με την ακρίβεια του οργάνου, ενώ ως λάθος να χαρακτηρίζουμε κάποια απροσεξία του πειραματιστή, όπως για παράδειγμα η λάθος αντιγραφή τιμής ή η εκτέλεση μη σωστών υπολογισμών. Υπήρξαν δύο-τρεις μαθητές που δεν μπόρεσαν να εκφέρουν άποψη. Χαρακτηριστικές απαντήσεις: «Το λάθος είναι ότι κάναμε εμείς λάθος στη μέτρηση, το σφάλμα είναι ότι κάποιο από τα εργαλεία μας έκανε λάθος», «στη φυσική ίσως να μην σχετίζονται σφάλμα και λάθος, στη φυσική σφάλμα είναι ανακρίβεια και όχι λάθος τρόπος μέτρησης, απροσεξία πάνω στη μέτρηση».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές δυσκολεύονται από μόνοι τους να κάνουν το διαχωρισμό μεταξύ των εννοιών λάθους και σφάλματος και απαιτείται προς αυτό η διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού.

Διαδικασία (Β): Εν συνεχεία του προηγούμενου παραδείγματος εισάγεται και η έννοια του % σχετικού σφάλματος. Δίνεται στους μαθητές καινούργιο παράδειγμα έτσι ώστε να εφαρμόσουν τον τύπο του % σχετικού σφάλματος για δύο μετρήσεις και να είναι σε θέση να συμπεράνουν ποια από αυτές έχει τη μεγαλύτερη ακρίβεια.

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτή την ερώτηση οι δύο από τις τέσσερις ομάδες αντιλήφθηκαν χωρίς την εφαρμογή του τύπου του % σχετικού σφάλματος ότι μπορούν να απαντήσουν ποια μέτρηση έχει μεγαλύτερη ακρίβεια «με το μάτι». Συγκρίνοντας δηλαδή τις μετρήσιμες τιμές με την τιμή αναφοράς, ποια είναι πιο κοντά αριθμητικά στην τιμή της δοσμένης βιβλιογραφικά τιμής. Μετά την εφαρμογή και του τύπου όλες οι ομάδες απάντησαν επιτυχώς ποια μέτρηση έχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Κατά την εφαρμογή του τύπου από μια μερίδα μαθητών παρατηρήθηκε σύγχυση στον αν θα έπρεπε να πολλαπλασιάσουν με το 100 και στην εφαρμογή της απόλυτης τιμής. Όμως όλοι μπόρεσαν να προβούν σε σωστό αποτέλεσμα με βοήθεια και από τον εκπαιδευτικό. Τέλος, σχεδόν όλοι ξέχασαν να συνοδεύσουν το αποτέλεσμα με το σύμβολο «%».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές είναι σε θέση να αντιληφθούν την διαφορά και την αναγκαιότητα της έννοιας του σχετικού σε σχέση με το απόλυτο σφάλμα. Ως προς τον υπολογισμό και την εκτέλεση πράξεων απαιτήθηκε και η βοήθεια του εκπαιδευτικού.

Βήμα 4

Στόχος: Η κατηγοριοποίηση των σφαλμάτων με βάση το ότι υπάρχουν σφάλματα που παραμένουν αμετάβλητα σε διαδοχικές μετρήσεις και άλλα σφάλματα που μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο.

Διαδικασία: Δίνεται η θεωρία της ταξινόμησης των σφαλμάτων σε συστηματικά και τυχαία από τον εκπαιδευτικό και ακολουθούν παραδείγματα που οι μαθητές συζητούν έτσι ώστε να τα εντάξουν σε κάποια από τις κατηγορίες.

Σύντομη περιγραφή: Η κατανόηση των συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων έγινε από όλους επιτυχώς καθώς διέκριναν σωστά ποιες είναι οι περιπτώσεις συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων μέσα από τα παραδείγματα που τους δόθηκαν.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές είναι σε θέση μέσα από τα παραδείγματα να διακρίνουν βασικές περιπτώσεις τυχαίων και συστηματικών σφαλμάτων.

Βήμα 5

Στόχος: Η εξαγωγή του συμπεράσματος ότι μείωση των σφαλμάτων είναι εφικτή αλλά όχι ο μηδενισμός τους.

Διαδικασία (Α): Συζήτηση πάνω στα προηγούμενα παραδείγματα για τον αν και πως είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μείωση των σφαλμάτων.

Σύντομη περιγραφή: Οι απόψεις των μαθητών για το αν και πως μπορούμε να ελαττώσουμε ένα συστηματικό ή τυχαίο σφάλμα ποικίλουν. Στην περίπτωση με τη ζυγαριά διατυπώθηκαν οι εξής απόψεις: «μετράμε τη μάζα και ανάλογα προσθαφαιρούμε», «αντικατάσταση του οργάνου», «να φτιάξουμε το όργανο», «δεν μπορούμε να κάνουμε κάτι είναι λάθος του κατασκευαστή», «να βάλουμε κάτι πάνω για να πάει στο 0 αν ήταν στο πλην και μετά να βάλουμε αυτό που θέλουμε να μετρήσουμε». Για την περίπτωση του χάρακα ακούστηκαν τα παρακάτω: «να πάρουμε νέο χάρακα», «να προσθέσουμε πάνω στο χάρακα την τιμή που λείπει», «μετράμε μήκος και ανάλογα προσθαφαιρούμε». Τέλος στην περίπτωση του χρονομέτρου αρκετοί ανέφεραν το μέσο όρο καθώς και το να είναι πιο προσεκτικός αυτός που πατάει το κουμπί. Μια άποψη ήταν ότι «το σφάλμα αν προέρχεται από τον άνθρωπο δεν μπορούμε να το ελαττώσουμε». Επίσης ειπώθηκε ότι εσκεμμένα μπορούμε «να πατάμε το κουμπί ένα δευτερόλεπτο πιο νωρίς ή πιο αργά για να ελαττώσουμε το σφάλμα» αν αυτό οφείλετε στα αντανακλαστικά μας.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές εκφέρουν ενδιαφέρουσες απόψεις για την μείωση των σφαλμάτων και φαίνεται ότι με κατάλληλη εκπαίδευση στην εργαστηριακή πρακτική μπορούν να βελτιώσουν τις δεξιότητες τους στην εκτέλεση μετρήσεων.

Διαδικασία (Β): Τέλος, τίθεται το ερώτημα αν σε μια μέτρηση στο εργαστήριο μπορούμε να μηδενίσουμε τα σφάλματα. Οι μαθητές εκφέρουν τις απόψεις τους.

Σύντομη περιγραφή: Όλοι οι μαθητές απάντησαν ότι δεν μπορούν να μηδενιστούν τα σφάλματα. Για παράδειγμα μια χαρακτηριστική απάντηση μαθητή ήταν «πάντα θα υπάρχει σφάλμα όσο μικρό και να είναι». Μια μαθήτρια, επίσης, διευκρίνισε ότι «αφού μπαίνουμε στη διαδικασία να πάρουμε πολλές τιμές για να βρούμε μέση τιμή σίγουρα αυτό το κάνουμε επειδή δεν μπορούμε να τα μηδενίσουμε». Όταν τέθηκε το ερώτημα «Με τα υπερσύγχρονα επιστημονικά όργανα μπορούμε να μηδενίσουμε τα σφάλματα;» δύο-τρεις μαθητές προβληματίστηκαν αλλάζοντας στιγμιαία την αρχική τους άποψη άλλα στη συνέχεια υποστήριξαν πάλι ότι δεν είναι εφικτός ο μηδενισμός των σφαλμάτων.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται να αντιλαμβάνονται ότι η αβεβαιότητα συνοδεύει κάθε επιστημονική μέτρηση και ότι δεν είναι εφικτός ο μηδενισμός των σφαλμάτων.

Μάθημα 2^{ο} – Σημαντικά ψηφία-Στρογγυλοποίηση

<u>**Βήμα 1**</u>

Στόχος: Η κατανόηση του ότι η αριθμητική τιμή ενός φυσικού μεγέθους γράφεται με αριθμό που είναι συμβατός με την ακρίβεια που γνωρίζουμε την τιμή του μεγέθους.

Διαδικασία (Α): Δίνονται στους μαθητές δύο χάρακες με διαφορετική κλίμακα ο καθένας και ζητείται να καταγράψουν τον αριθμό που δείχνει το βελάκι. Γίνεται συζήτηση για το πόσα δεκαδικά ψηφία θα έχει το αποτέλεσμα.

Σύντομη περιγραφή: Στο 1^{ο} σκέλος αυτής της ερώτησης οι ομάδες παρατήρησαν ότι το βελάκι είναι ανάμεσα στο 2 και το 3. Οι μισοί μαθητές σχολίασαν ότι στον χάρακα δεν αναγράφονται τα χιλιοστά. Τελικά όλοι εκτίμησαν το αποτέλεσμα σαν 2,4 ή 2,5cm. Αντίστοιχα στο 2^{ο} σκέλος της ερώτησης έγινε εκτίμηση από όλες τις ομάδες ότι το βελάκι είναι ανάμεσα στο 2,4 και 2,5 και δίνεται σαν αποτέλεσμα το 2,45cm. Χαρακτηριστικές εκφράσεις των μαθητών κατά τη διάρκεια της συζήτησης ήταν: «επειδή ο χάρακας έχει και mm μπορούμε να εκφράσουμε το αποτέλεσμα με μεγαλύτερη ακρίβεια». Τα αποτελέσματα τα παρουσίασαν με μονάδες μέτρησης οι μισοί από το σύνολο των μαθητών.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές μετά την παρέμβαση ήταν σε θέση να κάνουν σωστές εκτιμήσεις για το αποτέλεσμα με βάση τις πληροφορίες που μας δίνει ο χάρακας του κάθε ερωτήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις απαντήσεις του ερωτηματολογίου στο 1^{ο} στάδιο της έρευνας φάνηκε ότι οι μαθητές σε μεγάλο βαθμό δεν συνδέουν την ακρίβεια τις μέτρησης με τις δυνατότητες και την πληροφορία που μπορεί να μας δώσει το όργανο μέτρησης. Συνεπώς, απαιτείται παρέμβαση και χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία το θέμα μπορεί να γίνει αντιληπτό από τους μαθητές.

Διαδικασία (Β): Δίνεται ο ορισμός των ΣΨ, με σύντομη εισήγηση του εκπαιδευτικού, και παρατίθενται παραδείγματα αριθμών με διαφορετικό πλήθος σημαντικών ψηφίων. Οι μαθητές ανατρέχουν στις προηγούμενες μετρήσεις με τους χάρακες και εκφράζουν πόσα σημαντικά ψηφία είχαν τα αποτελέσματα που κατέγραψαν.

Σύντομη περιγραφή: Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει τον ορισμό των σημαντικών ψηφίων και γίνεται συζήτηση πάνω σε δοσμένα παραδείγματα. Οι μαθητές για τα προηγούμενα αριθμητικά αποτελέσματα εύκολα απαντούν πόσα σημαντικά ψηφία έχει το καθένα δηλαδή για το 2,5 και 2,45 ότι έχουν 2ΣΨ και 3ΣΨ αντίστοιχα.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται ότι με μικρή καθοδήγηση εύκολα κατανοούν την έννοια των σημαντικών ψηφίων.

Διαδικασία (Γ): Οι μαθητές καλούνται να αποφανθούν για τα σημαντικά ψηφία αριθμών σε δοσμένα παραδείγματα

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτό το ερώτημα δίνεται πίνακας με αριθμητικά δεδομένα με σκοπό οι μαθητές να αποφανθούν πόσα ΣΨ έχει ο κάθε αριθμός. Όλες οι ομάδες απαντούν σωστά με εξαίρεση ένα μαθητή που είχε τον εξής προβληματισμό: «το 20,0 έχει 2 ή 1 ΣΨ; Το 20 το υπολογίζω σαν ένα αριθμό;». Του δόθηκε η διευκρίνηση ότι κοιτάμε κάθε ψηφίο ξεχωριστά και ότι τα μηδενικά στο τέλος συνυπολογίζονται στο πλήθος των σημαντικών ψηφίων. Έτσι δόθηκε σωστά η απάντηση ότι το 20,0 έχει 3 ΣΨ.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές με τη βοήθεια παραδειγμάτων είναι σε θέση να εντοπίζουν το πλήθος των σημαντικών ψηφίων.

Βήμα 2

Στόχος: Εμπέδωση κανόνων καθορισμού του αριθμού των ΣΨ του αποτελέσματος πράξεων.

Διαδικασία: Γίνεται αναφορά των κανόνων που ισχύουν στον πολλαπλασιασμό/διαίρεση, στην πρόσθεση/αφαίρεση από τον εκπαιδευτικό και πραγματοποιείται συζήτηση πάνω σε παραδείγματα που έχουν εφαρμοστεί ήδη οι κανόνες. Οι μαθητές κάνουν εφαρμογή των κανόνων εκ νέου σε αποτελέσματα πράξεων.

Σύντομη περιγραφή: Ο εκπαιδευτικός εξηγεί τους κανόνες που ισχύουν στις πράξεις με σημαντικά ψηφία, για τον πολλαπλασιασμό/διαίρεση και την πρόσθεση/αφαίρεση. Μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετώπισαν οι μαθητές στην κατανόηση των πράξεων στην πρόσθεση/αφαίρεση που έπρεπε να κρατήσουν τη μέγιστη τάξη ψηφίου. Είχε δοθεί το παράδειγμα: 10,001+0,0003-0,85=9,15 για την κατανόηση του κανόνα και κατά τη συζήτηση πάνω στο συγκεκριμένο παράδειγμα διατυπώθηκαν οι απόψεις: «βλέπω ότι το 0,0003 φτάνει μέχρι δεκάκις χιλιοστά άρα το αποτέλεσμα θα το εκφράσω και αυτό με δεκάκις χιλιοστά». Όταν δόθηκε ξανά εξήγηση για το παράδειγμα ο μαθητής απάντησε: «άρα κρατάμε το μικρότερο το 0,85» εννοώντας το μικρότερο οπτικά αριθμό σε μήκος, έτσι ερμήνευσε τη «μέγιστη τάξη ψηφίου». Την ίδια παρατήρηση έκανε και άλλος ένας μαθητής από διαφορετική ομάδα: «κρατάμε το μικρότερο», εννοώντας και αυτός το 0,85 μικρότερο οπτικά αριθμό σε μήκος. Ο ίδιος σε παράδειγμα που του δόθηκε να εφαρμόσει τους κανόνες «13,4x1,2» σχολίασε: «δηλαδή το αποτέλεσμα θα βγει από μόνο του με 2ΣΨ», είχε την εντύπωση ότι το κομπιουτεράκι εκφράζει τα αποτελέσματα με βάση τους κανόνες. Τέλος, υπήρξε δυσκολία στις πράξεις με ακεραίους καθώς τους μπέρδευε το ποια τάξη ψηφίου να επιλέξουν να κρατήσουν: «αν αυτό που θα βρούμε δεν έχει εκατοστά δηλαδή αν είναι ακέραιος..» ήταν ο προβληματισμός μιας μαθήτριας. Οι μαθητές σε δύο από τις τέσσερις ομάδες δεν αντιμετώπισαν πρόβλημα κατανόησης και επίλυσης των πράξεων με υπενθύμιση των κανόνων όπου ήταν απαραίτητο από το διδάσκοντα.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές είναι σε θέση με κατάλληλη εξάσκηση να επιλέγουν το πλήθος των σημαντικών ψηφίων στο αποτέλεσμα πράξεων. Μεγαλύτερη δυσκολία και άρα μεγαλύτερη διαμεσολάβηση από τον εκπαιδευτικό απαιτεί η περίπτωση της πρόσθεσης και αφαίρεσης.

Βήμα 3

Στόχος: Εμπέδωση κανόνων στρογγυλοποίησης αριθμών

Διαδικασία: Γίνεται υπενθύμιση των κανόνων της στρογγυλοποίησης από τον εκπαιδευτικό και μελετάται η εφαρμογή τους σε παραδείγματα. Καλούνται οι μαθητές να κάνουν χρήση των κανόνων σε παραδείγματα που ζητείται το αποτέλεσμα να εκφραστεί με συγκεκριμένο πλήθος ΣΨ καθώς και να εφαρμόσουν στρογγυλοποίηση μετά από πράξεις συνδυαστικά με τους κανόνες των πράξεων από τη θεωρία των ΣΨ. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού παραμένει υποστηρικτικός σε περιπτώσεις υπενθύμισης των κανόνων.

Σύντομη περιγραφή: Ο εκπαιδευτικός κάνει υπενθύμιση των κανόνων της στρογγυλοποίησης. Δεν υπάρχει ιδιαίτερη δυσκολία στην εφαρμογή τους με μικρές εξαιρέσεις. Το $1^{ο}$ παράδειγμα που δίνεται για στρογγυλοποίηση είναι το 13,079, να στρογγυλοποιηθεί με 2ΣΨ με 3ΣΨ και με 4ΣΨ. Δυο μαθητές από διαφορετικές ομάδες μπερδεύτηκαν στο ίδιο σημείο, στρογγυλοποίηση με 4 ΣΨ ενώ έχει προηγηθεί αυτή με τα 3ΣΨ. Αφού η στρογγυλοποίηση με 3 ΣΨ έδωσε το αποτέλεσμα 13,1 είχαν στο μυαλό τους τον αριθμό πλέον σαν 13,179 και έδωσαν σαν απάντηση στη στρογγυλοποίηση με 4 ΣΨ τον αριθμό 13,18. Μετά από διευκρινίσεις και συζήτηση απαντούν σωστά 13,08. Εντοπίστηκε δυσκολία στο επόμενο ερώτημα που απαιτούσε και εφαρμογή των κανόνων των πράξεων σε συνδυασμό με στρογγυλοποίηση. Έγινε υπενθύμιση των κανόνων των πράξεων και μια μαθήτρια έθεσε το ερώτημα: «Αν είχαμε πρόσθεση και πολλαπλασιασμό σε μία πράξη όλο μαζί τι κανόνα εφαρμόζουμε;». Τέλος, όλοι οι μαθητές μπόρεσαν να ανταποκριθούν με καθοδήγηση του εκπαιδευτικού.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές είναι σε θέση μετά από εξάσκηση πάνω σε κατάλληλα παραδείγματα να στρογγυλοποιούν τα αποτελέσματα πράξεων με τον κατάλληλο αριθμό σημαντικών ψηφίων.

Μάθημα 3ο – Αβεβαιότητα μέτρησης

<u>Βήμα 1</u>

Στόχος: Κατανόηση του ότι η μέτρηση αποκτά νόημα όταν συνοδεύεται από τη γνώση της αβεβαιότητας της.

Διαδικασία (Α): Οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν αν και κατά πόσο διαφέρουν τα αποτελέσματα της μέτρησης δύο αντιστατών από το ίδιου τύπου ωμόμετρα. Γίνεται συζήτηση και παραθέτουν τις απόψεις τους. Στο δεύτερο σκέλος του προβλήματος δίνεται η ακρίβεια του οργάνου μέτρησης και το ίδιο ερώτημα τίθεται ξανά. Αντίστοιχα μεσολαβεί συζήτηση για να δοθεί η απάντηση. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός-υποστηρικτικός.

Σύντομη περιγραφή: Στο 1ο σκέλος της ερώτησης όλοι οι μαθητές έδωσαν κοινή απάντηση ότι οι αντιστάτες διαφέρουν κατά 3Ω αφού οι δοσμένες τιμές ήταν 434Ω και 437Ω. Στο 2ο σκέλος της ερώτησης μετά από συζήτηση και διαμεσολάβηση, όπου χρειάστηκε, τελικά κατέληξαν οι μαθητές στο συμπέρασμα ότι οι αντιστάτες μπορεί να είναι και ίδιοι. Μέχρι να καταλήξουν σε συμπέρασμα διατυπώθηκαν διάφορες απόψεις: «Πάλι θα διαφέρουν αλλά ίσως να μην είναι ίδια η διαφορά τους επειδή υπάρχει αυτή η απόκλιση», «Θα μπορούσε να είναι ο ίδιος αντιστάτης; Αφού έχουν διαφορά μικρότερη των 9Ω . Θα μπορούσε να έχει τιμές ο R_1 από 425 ως 443 και ο R_2 από 428 ως 446 σύμφωνα με την αβεβαιότητα που είναι ±9Ω», «Μπορούμε να υποθέσουμε ότι στη πραγματικότητα είναι ίσες; Έχουν διαφορετικές τιμές επειδή έχει κάνει λάθος μέτρηση το όργανο..», «θα μπορούσε να σημαίνει ότι οι δύο αντιστάτες από σφάλμα βγήκε ότι έχουν διαφορά άρα θα μπορούσε να είναι και ίδιοι». Πέντε μαθητές κατά τη διάρκεια της συζήτησης είχαν σωστό τρόπο σκέψης και μπόρεσαν να αιτιολογήσουν την απάντηση τους, οι υπόλοιποι δεν μπόρεσαν να τεκμηριώσουν τις απόψεις τους και να προβούν σε απάντηση.

Συμπέρασμα: Η δυσκολία έγκειται στην ερμηνεία της αβεβαιότητας, οι περισσότεροι μαθητές δεν μπόρεσαν να αντιληφθούν και να ερμηνεύσουν την αβεβαιότητα ±9Ω. Με καθοδήγηση του εκπαιδευτικού οι μαθητές αντιλαμβάνονται την έννοια της αβεβαιότητας στη μέτρηση.

Διαδικασία (Β): Γίνεται γνωστό το θεωρητικό υπόβαθρο για την αβεβαιότητα από τον εκπαιδευτικό και στη συνέχεια δίνεται παράδειγμα όπου οι μαθητές εφαρμόζουν τον τύπο της σχετικής αβεβαιότητας σε μετρήσεις έτσι ώστε να προβούν σε σύγκριση αβεβαιοτήτων.

Σύντομη περιγραφή: Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει τη θεωρία γύρω από την αβεβαιότητα και στη συνέχεια δίνεται παράδειγμα στο οποίο οι μαθητές καλούνται να κάνουν σύγκριση αβεβαιοτήτων. Οι μισοί μαθητές αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τις τιμές x και Δx, δεν μπορούν να αντιστοιχίσουν τις αριθμητικές τιμές του παραδείγματος στον τύπο της σχετικής αβεβαιότητας. Μπερδεύτηκαν που θα αντικαταστήσουν τη μετρήσιμη τιμή και που την αβεβαιότητα. Χαρακτηριστικό σχόλιο μαθητή ήταν το εξής: «το Δx είναι η απόσταση». Τελικά απάντησαν σωστά οι τέσσερις ομάδες κάνοντας σύγκριση της % σχετικής αβεβαιότητας, ότι το μικρότερο αριθμητικό αποτέλεσμα μας δείχνει μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές είναι σε θέση να υπολογίσουν τη σχετική αβεβαιότητα και να κάνουν σύγκριση αβεβαιοτήτων. Μικρή δυσκολία αντιμετώπισαν κατά την αντικατάσταση των τιμών στον τύπο.

Βήμα 2

Στόχος: Υπολογισμός αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με αναλογικό όργανο.

Διαδικασία: Η εύρεση της τιμής όταν πραγματοποιείται μέτρηση με αναλογικά όργανα καθώς και ο τρόπος εκτίμησης της αβεβαιότητας παρουσιάζονται από τον εκπαιδευτικό συζητώντας με παραδείγματα. Οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν το αποτέλεσμα μιας μέτρησης με ένα αναλογικό βολτόμετρο. Ο εκπαιδευτικός παρακινεί συζήτηση για το τι εκφράζουν οι δοσμένοι τύποι.

Σύντομη περιγραφή: Ο εκπαιδευτικός παρουσίασε το θεωρητικό υπόβαθρο για τα αναλογικά όργανα και τους αντίστοιχους τύπους. Γενικά δεν αντιμετώπισαν οι μαθητές ιδιαίτερη δυσκολία και απάντησαν σωστά χωρίς όμως να παρουσιάσουν το αποτέλεσμα στη μορφή $x \pm \Delta x$ και χωρίς μονάδα μέτρησης. Σχόλια μαθητών: «δεν χρειάζεται να κάνουμε την πράξη, φαίνεται ποια τιμή δείχνει ο δείκτης», «Το 58,5 είναι ακριβώς στη μέση».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται να είναι εξοικειωμένοι με τα αναλογικά όργανα και δέχονται εύκολα τη θεωρία γύρω από αυτά. Θεωρούν τα αποτελέσματα «αναμενόμενα» παρόλα αυτά δεν έχουν υιοθετήσει τον τρόπο γραφής των αποτελεσμάτων στη μορφή $x \pm \Delta x$.

Βήμα 3

Στόχος: Υπολογισμός αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με ψηφιακό όργανο.

Διαδικασία: Ο εκπαιδευτικός προβαίνει στη θεωρία γύρω από τα ψηφιακά όργανα και τον υπολογισμό της αβεβαιότητας σ’ αυτή την περίπτωση. Γίνεται συζήτηση πάνω στον λόγο και τον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται η αβεβαιότητα όταν δεν δίνεται από τον κατασκευαστή του οργάνου. Ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν το αποτέλεσμα από την ένδειξη ενός ψηφιακού θερμομέτρου (δεν δίνεται η ακρίβεια του οργάνου από τον κατασκευαστή) μαζί με την αβεβαιότητά της.

Σύντομη περιγραφή: Δόθηκε στους μαθητές το θεωρητικό υπόβαθρο για τα ψηφιακά όργανα και απαντούν σωστά στο ερώτημα που τίθεται χωρίς μονάδα μέτρησης. Το κομμάτι που δυσκολεύτηκαν ήταν στον προσδιορισμό της αβεβαιότητας αν δεν δίνεται από το κατασκευαστή του οργάνου καθώς και από μία ομάδα υπήρχε σύγχυση με τα αναλογικά όργανα. Προβληματισμός μαθητή: «Αν το τελευταίο ψηφίο ήταν 0 πάλι το ίδιο θα κάναμε;» και «το τελευταίο ψηφίο είναι το 5 άρα παίρνουμε το μισό 2,5» πάνω στο κομμάτι της θεωρίας που λέει ως αβεβαιότητα θεωρούμε μια μονάδα από το τελευταίο ψηφίο της ένδειξης.

Συμπέρασμα: Η καθοδήγηση του εκπαιδευτικού ήταν απαραίτητη για να αντιληφθούν οι μαθητές τον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζεται η αβεβαιότητα στην περίπτωση των ψηφιακών οργάνων.

Μάθημα 4ο – Επανάληψη μέτρησης-Μέση τιμή-Αβεβαιότητα

Βήμα 1

Στόχος: Εμπέδωση της έννοιας της μέσης τιμής και του ότι αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων εργαστηριακών μετρήσεων.

Διαδικασία (Α): Δίνεται παράδειγμα στο οποίο παρατίθενται διαφορετικές μετρήσεις χρόνου που πραγματοποιήθηκαν από χρονόμετρο για τη μελέτη του χρονικού διαστήματος που χρειάζεται μια μπίλια για να διανύσει δεδομένη απόσταση. Το ερώτημα που τίθεται προς τους μαθητές είναι αν οι διαφορετικές αυτές μετρήσεις οφείλονται σε συστηματικά ή τυχαία σφάλματα. Ο ρόλος του διδάσκοντα είναι υποστηρικτικός σε περίπτωση που χρειάζεται υπενθύμιση των κατηγοριών των σφαλμάτων. Οι μαθητές συζητούν και κατατάσσουν την παραπάνω περίπτωση σε συστηματικό ή σε τυχαίο σφάλμα.

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτή την ερώτηση οι περισσότεροι μαθητές ως απάντηση έδωσαν ότι το σφάλμα που εντοπίζουν είναι και συστηματικό και τυχαίο ενώ μερικοί υποστήριξαν ότι οφείλεται μόνο σε τυχαίο σφάλμα. Το τυχαίο σφάλμα το απέδωσαν όλοι στο πάτημα του κουμπιού του χρονομέτρου, ενώ το συστηματικό στην ακρίβεια του χρονομέτρου. Χαρακτηριστικός είναι ο παρακάτω διάλογος μεταξύ των μαθητών:

Κ2. Οφείλεται σε τυχαίο σφάλμα

Κ1. Και σε συστηματικό, αν το χρονόμετρο δεν είναι ακριβές και έχει κάποιο πρόβλημα στη κατασκευή του.

Κ2. Ναι αλλά με το ίδιο χρονόμετρο μετράς άρα και λάθος να έχει…

Κ1. Βγαίνουν και οι υπόλοιπες μετρήσεις τα ίδια

Κ2. Ναι άρα δεν έχει διαφορά

Κ1. Αλλά δεν θα είναι ο πραγματικός χρόνος

Κ2. Ναι αλλά εμείς τους συγκρίνουμε, μας προβληματίζει η διαφορά μεταξύ των χρόνων που βρήκαμε

Α. νομίζω τυχαίο σφάλμα, δεν είναι απαραίτητο να φταίει το όργανο

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται να έχουν αντιληφθεί τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα και είναι σε θέση να τα εντοπίσουν.

Διαδικασία (Β): Στη συνέχεια του παραδείγματος τίθεται το ερώτημα για το ποια είναι η καλύτερη εκτίμηση για τις μετρήσεις. Πραγματοποιείται συζήτηση και οι μαθητές παραθέτουν τις απόψεις τους.

Σύντομη περιγραφή: Στη συνέχεια του προηγούμενου ερωτήματος όταν τους ζητείται ποια τιμή θα θεωρήσουν καλύτερη όλοι επιλέγουν τη μέση τιμή των μετρήσεων χαρακτηρίζοντάς τη όμως αρκετοί μαθητές μέσο όρο. Η εξήγηση που έδωσαν: «Απλά μας είχαν πει στο γυμνάσιο ότι όταν έχουμε πολλές μετρήσεις κάνουμε αυτό, αλλά γιατί αυτό και όχι κάποιο άλλο;», «μας φάνηκε πιο λογικό συγκριτικά με τα άλλα».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται να γνωρίζουν, χωρίς όμως να είναι σε θέση να τεκμηριώσουν, ότι η καλύτερη εκτίμηση είναι η μέση τιμή καθώς με τη μέχρι τώρα εργαστηριακή τους εμπειρία έχουν εφαρμόσει τον υπολογισμό της μέσης τιμής σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

Διαδικασία (Γ): Γίνεται σύντομη υπενθύμιση από το διδάσκοντα για τη θεωρία της μέσης τιμής καθώς και για τον μαθηματικό της τύπο. Οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν τη μέση τιμή στο παράδειγμα που προηγήθηκε.

Σύντομη περιγραφή: Ο διδάσκοντας υπενθυμίζει τον τύπο της μέσης τιμής και οι μαθητές καλούνται να τον εφαρμόσουν στις μετρήσεις του προηγούμενου ερωτήματος. Ένας μόνο μαθητής μπερδεύεται με τον τύπο και δεν αναγνωρίζει το «ν», το πλήθος των μετρήσεων. Τελικά κάνουν όλοι σωστά εφαρμογή του τύπου της μέσης τιμής.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές δεν έχουν δυσκολία στον υπολογισμό της μέσης τιμής.

Βήμα 2

Στόχος: Υπολογισμός αβεβαιότητας κατά τη λήψη επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

Διαδικασία (Α): Με βάση το παράδειγμα αυτής της ενότητας ο εκπαιδευτικός εισάγει την έννοια της αβεβαιότητας της μέσης τιμής καθώς και την απόκλιση μιας μέτρησης από τη μέση τιμή έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο υπολογισμός της αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα υπολογίζεται κλιμακωτά καθώς οι μαθητές με προτροπή του διδάσκοντα αρχικά υπολογίζουν τις αποκλίσεις. Στη συνέχεια τους καθοδηγεί στον υπολογισμό της μέσης τιμής των αποκλίσεων έτσι ώστε να δοθεί το αποτέλεσμα της αβεβαιότητας της μέσης τιμής. Ακολουθεί συζήτηση πάνω στη διαδικασία υπολογισμού, οι μαθητές εκφράζουν απόψεις σχετικά με την κατανόηση της διαδικασίας και δίνονται διευκρινίσεις.

Σύντομη περιγραφή: Ο διδάσκων παραθέτει τη θεωρία για την αβεβαιότητα της μέσης τιμής και οι μαθητές εφαρμόζουν τον τύπο της μέσης τιμής των αποκλίσεων. Υπάρχει μικρή δυσκολία ως προς την κατανόηση των αποκλίσεων αλλά γίνεται τελικά αντιληπτό από όλους. Με παρότρυνση του διδάσκοντα γράφουν το αποτέλεσμα στη μορφή «μέση τιμή ± αβεβαιότητα» αλλά ξεχνάνε μονάδες μέτρησης.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές με τη διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού είναι σε θέση τελικά να υπολογίζουν την αβεβαιότητα στην περίπτωση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

Διαδικασία (Β): Το επόμενο θεωρητικό κομμάτι που παρατίθεται από τον εκπαιδευτικό έχει να κάνει με τον τρόπο γραφής του αποτελέσματος της μέσης τιμής και της αβεβαιότητας που υπολογίστηκαν προηγουμένως. Πάνω σε δοσμένο παράδειγμα εξηγείται ο λόγος που η αβεβαιότητα εκφράζεται με ένα ΣΨ και η μέση τιμή με την αντίστοιχη ακρίβεια. Οι μαθητές κάνουν εφαρμογή στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς τους.

Σύντομη περιγραφή: Για τις ανάγκες του ερωτήματος έγινε υπενθύμιση των σημαντικών ψηφίων από τον εκπαιδευτικό και παρουσίαση του τρόπου γραφής του αποτελέσματος με βάση τη θεωρία. Φαίνεται να κατανόησαν οι μαθητές πως θα εκφράσουν την αβεβαιότητα με 1ΣΨ και τρεις μαθητές απαντάνε σωστά κάνοντας ταυτόχρονα στρογγυλοποίηση (0,37→0,4). Με υπενθύμιση και για τις τάξεις ψηφίων εκφράζουν και τη μέση τιμή με την ίδια ακρίβεια, στα δέκατα (4,633→4,6).

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται ότι είναι σε θέση να εφαρμόζουν τους κανόνες αναγραφής των αποτελεσμάτων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων με τη σωστή αναγραφή της μέσης τιμής και της αβεβαιότητας.

Διαδικασία (Γ): Δίνεται πρόβλημα πάνω στη θεωρία της μέσης τιμής και της αβεβαιότητάς της να λυθεί από τους μαθητές. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καθοδηγητικός και υποστηρικτικός σε περίπτωση που χρειάζεται κάποια υπενθύμιση ή διευκρίνιση.

Σύντομη περιγραφή: Το τελευταίο παράδειγμα περιείχε όλη την θεωρία γύρω από τη μέση τιμή. Όλες οι ομάδες κατάφεραν να το λύσουν με μικρές υπενθυμίσεις από το διδάσκοντα όταν αυτές ήταν απαραίτητες.

Συμπέρασμα: Με την προτεινόμενη διδασκαλία φαίνεται ότι οι μαθητές είναι σε θέση να υπολογίζουν τη μέση τιμή σε επαναλαμβανόμενη μέτρηση, να υπολογίζουν την αβεβαιότητα και να γράφουν το κατάλληλα το αποτέλεσμα.

Μάθημα 5^{ο} – Η διάδοση της αβεβαιότητας

<u>Βήμα 1</u>

Στόχος: Η εύρεση της αβεβαιότητας στην τιμή μεγέθους που προκύπτει ως άθροισμα ή διαφορά άλλων μεγεθών.

Διαδικασία (Α): Δίνεται παράδειγμα στο οποίο οι μαθητές καλούνται να υπολογίσουν συνολικό μήκος ράβδου από την ένωση δύο άλλων ράβδων. Γίνεται συζήτηση με τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει ο υπολογισμός της νέας τιμής και της αβεβαιότητας. Ο εκπαιδευτικός είναι απλός παρατηρητής αφήνει τους μαθητές να εκφράσουν γνώμες.

Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τους μαθηματικούς τύπους από το διδάσκοντα και οι μαθητές προβαίνουν σε σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την εφαρμογή των τύπων.

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτό το ερώτημα οι μαθητές δεν αντιμετώπισαν δυσκολία στον υπολογισμό του νέου μήκος καθώς όλοι υποστήριξαν ότι θα προσθέσουν τα μήκη των δύο ράβδων για να προκύψει το μήκος της νέας ράβδου. Διατύπωσαν διάφορες απόψεις κυρίως σε ότι έχει να κάνει με τον υπολογισμό της αβεβαιότητας. Οι απόψεις που ακούστηκαν για τον υπολογισμό της τιμής της νέας αβεβαιότητας ήταν οι εξής: «να βρούμε τη μέση τιμή των αβεβαιοτήτων», «να πάρουμε μια από τις δύο αβεβαιότητες», «να τις προσθέσουμε ή να τις αφαιρέσουμε τις αβεβαιότητες». Χαρακτηριστικοί διάλογοι μαθητών:

Α. Μήπως βρούμε μέσο όρο των αβεβαιοτήτων?

Β. Το μέσο όρο τον χρησιμοποιούμε σε τυχαία σφάλματα εδώ πρέπει να είναι συστηματικό.

Γ. ή να πάρουμε μια από τις δυο αβεβαιότητες

Δ. Να πάρουμε μια από τις δύο είναι αυθαίρετο

Τελικά κατέληξαν να προσθέσουν και τα μήκη των ράβδων και τις αβεβαιότητες για να εκφράσουν το καινούριο αποτέλεσμα. Το οποίο μετά διασταυρώθηκε και με τη θεωρία. Από το σύνολό το μαθητών μια μαθήτρια παρουσίασε τον συλλογισμό: «να βρούμε το εύρος της καινούριας ράβδου προσθέτοντας την ελάχιστη με την ελάχιστη και τη μέγιστη με τη μέγιστη τιμή των αρχικών ράβδων, άρα αν τα αφαιρέσουμε αυτά… και τα διαιρέσουμε με το 2…» (με βοήθεια του εκπαιδευτικού κατέληξε ότι αυτό που περιγράφει είναι η αβεβαιότητα) «και να βρούμε το μέσο όρο για να υπολογίσουμε το καινούριο L».

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται να θεωρούν λογικό ότι το μήκος της ράβδου που προέρχεται από τη συγκόλληση είναι το άθροισμα των δύο μηκών των ράβδων αλλά δυσκολεύονται να αποφανθούν για τις αβεβαιότητες. Διαισθητικά (και αυθαίρετα) καταλήγουν σε αποτέλεσμα. Η διάδοση της αβεβαιότητας στην περίπτωση της πρόσθεσης μετά τη διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού έγινε αντιληπτή από τους μαθητές.

Διαδικασία (Β): Αντίστοιχο παράδειγμα με την περίπτωση του αθροίσματος δίνεται και για την περίπτωση της αφαίρεσης και οι μαθητές καλούνται ξανά να εκτιμήσουν το αποτέλεσμα της νέας τιμής και της αβεβαιότητάς. Ο εκπαιδευτικός και αυτή τη φορά δεν παίρνει θέση και αφήνει τους μαθητές να εκφράσουν τις απόψεις τους.

Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τους μαθηματικούς τύπους από τον εκπαιδευτικό και οι μαθητές προβαίνουν σε σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την εφαρμογή των τύπων.

Σύντομη περιγραφή: Στο ερώτημα αυτό δόθηκε αντίστοιχο παράδειγμα με αφαίρεση αυτή τη φορά. Ομόφωνα για τη νέα τιμή της μάζας υποστήριξαν αφαίρεση αλλά στη περίπτωση της αβεβαιότητας ακούστηκαν διάφορες απόψεις: «έχουν την ίδια αβεβαιότητα, χρησιμοποιούμε το ίδιο όργανο, οπότε μπορούμε να κρατήσουμε την ίδια», «Δεν έχει νόημα να αφαιρέσουμε τις αβεβαιότητες γιατί βγαίνει 0», «Αφού πριν τα προσθέσαμε και τα δυο τώρα δεν πρέπει να αφαιρέσουμε και τα δύο;», «Να τις προσθέσουμε όπως πριν». Οι μισοί μαθητές δεν μπόρεσαν τελικά να δώσουν απάντηση ενώ οι υπόλοιποι φάνηκε να προτιμούν την πρόσθεση των αβεβαιοτήτων επηρεασμένοι από το προηγούμενο ερώτημα καθώς η αφαίρεση των αβεβαιοτήτων δεν τους έδινε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Επιβεβαιώθηκε η σωστή απάντηση με τη θεωρία που παρατίθεται από κάτω.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές όμοια με το προηγούμενο ερώτημα διαισθητικά δίνουν απάντηση για τη νέα αβεβαιότητα και όταν ακολουθεί η διδακτική παρέμβαση αντιλαμβάνονται τη διάδοση της αβεβαιότητας στην περίπτωση της αφαίρεσης.

<u>Βήμα 2</u>

Στόχος: Η εύρεση της αβεβαιότητας στην τιμή μεγέθους που προκύπτει ως γινόμενο ή πηλίκο άλλων μεγεθών.

Διαδικασία (Α): Συνεχίζοντας στο ίδιο μοτίβο δίνεται στους μαθητές παράδειγμα στο οποίο τους ζητείτε να υπολογίσουν τη νέα τιμή και την αβεβαιότητα όπως αυτές προκύπτουν μέσα από πολλαπλασιασμό της μετρήσιμης τιμής με μια σταθερά. Εκφράζουν τις απόψεις τους.

Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο μαζί με τους μαθηματικούς τύπους από τον εκπαιδευτικό και οι μαθητές προβαίνουν σε σύγκριση των αποτελεσμάτων πριν και μετά την εφαρμογή των τύπων.

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτή την ερώτηση όλες οι ομάδες ανέφεραν την πρόσθεση των αντιστατών καθώς είναι συνδεδεμένοι σε σειρά. Δύο μαθητές διαβάζοντας το 5R στην εκφώνηση υποστήριξαν ότι θα πολλαπλασιάσουμε την τιμή της αντίστασης με το 5 αλλά χωρίς να συμπεριλάβουμε την αβεβαιότητα. Οι υπόλοιποι μαθητές συμπλήρωσαν ότι και η αβεβαιότητα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το 5 για να δοθεί ολοκληρωμένα το αποτέλεσμα. Διατύπωσαν την εξής άποψη: «Όπως και στα προηγούμενα παραδείγματα της πρόσθεσης και της αφαίρεσης έτσι και εδώ θα προκύπτει καινούργια τιμή για την αβεβαιότητα άρα πολλαπλασιάζουμε και την αβεβαιότητα με το 5.» Τελικά κατέληξαν όλοι οι μαθητές να πολλαπλασιάσουν και την αντίσταση και την αβεβαιότητα με το 5 και στη συνέχεια έγινε η επαλήθευση με τη θεωρία.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές, με τη διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού, φαίνεται να αντιλαμβάνονται τον κανόνα για την εύρεση της αβεβαιότητας στην περίπτωση του πολλαπλασιασμού μεγέθους επί σταθερά αλλά πριν τη διαμεσολάβηση του διδάσκοντα, πάλι απαντούν διαισθητικά.

Διαδικασία (Β): (Β) Ο εκπαιδευτικός κάνει σύντομη αναφορά στη θεωρία γύρω από τις περιπτώσεις του γινομένου και του πηλίκου δύο φυσικών μεγεθών και παραθέτει τους μαθηματικούς τύπους. Οι μαθητές καλούνται να κάνουν εφαρμογή των τύπων σε αντίστοιχα παραδείγματα.

Σύντομη περιγραφή: Ο διδάσκοντας παραθέτει τη θεωρία στην περίπτωση του πολλαπλασιασμού και της διαίρεσης δύο μετρήσιμων τιμών και οι μαθητές εφαρμόζουν σε διάφορα παραδείγματα. Με υπενθύμιση από τον εκπαιδευτικό παρουσιάζουν στη σωστή μορφή τα αποτελέσματα (με σωστό τρόπο γραφής). Τονίζεται ότι στο δεδομένο χρονικό πλαίσιο της διδακτικής ώρας δόθηκε έμφαση στο να κατανοηθεί η έννοια της «διάδοσης της αβεβαιότητας» στην περίπτωση του αθροίσματος και της διαφοράς. Στην περίπτωση του γινομένου και του πηλίκου δόθηκαν οι κανόνες χωρίς να προηγηθεί διερεύνηση των μαθητών.

Συμπέρασμα: Οι μαθητές φαίνεται να είναι σε θέση με λίγη εξάσκηση να εφαρμόζουν τους κανόνες για τη διάδοση της αβεβαιότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συζήτηση-συμπεράσματα

Συζήτηση-συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως κύριο σκοπό την δόμηση και αξιολόγηση μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση αναφορικά με τη διδασκαλία εννοιών και την καλλιέργεια δεξιοτήτων που σχετίζονται με τη διαδικασία της «μέτρησης» φυσικών μεγεθών. Θεωρούμε ότι εισαγωγικά, τουλάχιστον στο Λύκειο, στο μάθημα της φυσικής, θα πρέπει να αφιερώνονται λίγες διδακτικές ώρες σε αυτό το αντικείμενο καθώς αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για τη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής και καλύπτει και τις τρείς συνιστώσες στοχοθεσίας των αναλυτικών προγραμμάτων στο ξεκίνημα του 21ου αιώνα, δηλαδή, καλύπτει το τρίπτυχο «μαθαίνω επιστήμη», «μαθαίνω για την επιστήμη» και «κάνω επιστήμη» (Hodson, 1996).

Η προτεινόμενη ΔΜΑ απευθύνεται σε μαθητές της Α΄ Λυκείου και προτείνεται να διδάσκεται κατά τα εισαγωγικά μαθήματα της Φυσικής στην αρχή της σχολικής χρονιάς. Για το διδακτικό μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχομένου και τη δόμηση της ΔΜΑ, εκτός από τη μελέτη της βιβλιογραφίας έγινε μια μικρή έρευνα με ερωτηματολόγιο σε 100 μαθητές της Γ΄ Λυκείου, δηλαδή πολίτες που σε λίγο αποφοιτούν από τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, προκειμένου να αξιοποιηθούν και αυτά τα ευρήματα. Τα συμπεράσματα, αυτού του 1ου σταδίου της έρευνας παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 στο τέλος του εδαφίου 3.4 και θα ήταν περιττό να επαναληφθούν εδώ. Ωστόσο, με λίγα λόγια και με την επιφύλαξη του περιορισμένου, αριθμητικά και τοπικά, δείγματος, φαίνεται να προκύπτει μια ανάγκη για μεγαλύτερη άσκηση των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην επεξεργασία μετρήσεων και τη διαπραγμάτευση των εννοιών που σχετίζονται με αυτή την επιστημονική / εκπαιδευτική διαδικασία. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στην περίπτωση τη μη σύνδεσης των ψηφίων αναγραφής του αποτελέσματος μιας μέτρησης με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του οργάνου μέτρησης, αναδείχθηκε η μη εξοικείωση των μαθητών με βασικές εργαστηριακές πρακτικές. Όπως προκύπτει από την παρούσα εργασία, κατά την αναφορά στις οδηγίες διδασκαλίας στο εργαστήριο, μάλλον το προαναφερόμενο πρόβλημα δεν οφείλεται σε αυτές. Μια εξήγηση, για τη μη εξοικείωση των μαθητών με θεμελιώδεις εργαστηριακές πρακτικές, είναι έλλειψη βαρύτητας που δίνεται σε αυτές από όλες τις συνιστώσες του εκπαιδευτικού συστήματος, το οποίο είναι προσανατολισμένο στην επιτυχία σε εξετάσεις με θέματα του τύπου των πανελληνίων εξετάσεων.

Από την εφαρμογή της ΔΜΑ προέκυψαν ευρήματα τα οποία αναφέρονται ανά μάθημα και ανά βήμα στο εδάφιο 4.3 του 4ου κεφαλαίου. Όπως προέκυψε, γενικά, με μικρή καθοδήγηση από τον εκπαιδευτικό και χρήση παραδειγμάτων, οι μαθητές ήταν σε θέση να εφαρμόζουν κανόνες και τεχνικές, όπως για παράδειγμα να στρογγυλοποιούν αποτελέσματα μετρήσεων ή υπολογισμών, να υπολογίζουν την αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα μέτρησης ή μετρήσεων. Μεγαλύτερη παρέμβαση από το διδάσκοντα απαιτείται στις περιπτώσεις εννοιολογικής κατανόησης όπως οι περιπτώσεις της διαφοράς λάθους σφάλματος, το αναπόφευκτο της αβεβαιότητας σε μία μέτρηση, η διάδοση της αβεβαιότητα και η κατανόηση του γεγονότος ότι η γνώση της αβεβαιότητας μιας μέτρησης είναι απαραίτητο στοιχείο αυτής. Κάποιες δυσκολίες όχι τόσο εννοιολογικές, αλλά σε μαθηματικές δεξιότητες, παρατηρήθηκαν σε περιπτώσεις που οι μαθητές είχαν να εκτελέσουν πράξεις όπως κατά την εξαγωγή ποσοστών και επίσης, χρειάστηκε πολλές φορές η παρέμβαση του εκπαιδευτικού για την αναγραφή των μονάδων μέτρησης στα αποτελέσματα. Οι ιδέες που εξέφρασαν κατά την εφαρμογή οι μαθητές δεν ήταν πάντοτε οι «επιστημονικά ορθές» αλλά μέσα από συζήτηση, ανάλυση και παραδείγματα φάνηκε να μετατοπίζονται εννοιολογικά προς τις έννοιες που διδάχθηκαν.

Από αυτά τα ευρήματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε γενικές γραμμές οι μαθητές είναι σε θέση με την κατάλληλη διαμεσολάβηση του εκπαιδευτικού να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των διδασκαλιών της ΔΜΑ που προτείνεται στην παρούσα εργασία προκειμένου να επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Η προτεινόμενη ΔΜΑ φάνηκε να μπορεί να εφαρμοστεί το από πλευράς γνωστικού φορτίου αλλά και χρόνου. Ωστόσο, απαιτείται περεταίρω έρευνα και εφαρμογή της ΔΜΑ στο επίπεδο ολόκληρης τάξης και όχι ομάδας, προκειμένου να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα. Επίσης, για τυπικούς και πρακτικούς λόγους η ΔΜΑ περιορίστηκε σε πέντε διδακτικές ώρες. Μια πρόταση για μια απαραίτητη προσθήκη και συνέχιση της παρούσας έρευνας θα ήταν η δόμηση ενός μαθήματος δύο ωρών σχετικά με τη χρήση των διαγραμμάτων στην εξαγωγή συμπερασμάτων από τα δεδομένα που προκύπτουν από την εκτέλεση μετρήσεων στο σχολικό εργαστήριο των φυσικών επιστημών.

Βιβλιογραφία

Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., Lubben, F., Evangelinos, D., Psillos, D., & Valassiades, O. (2003). Teaching Measurement in the Introductory Physics Laboratory. *The Physics Teacher*, 41(7), 394-401.

Bell, S. (2001). A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement. *Measurement Good Practice Guide No. 11*, National Physical Laboratory.

Buffer, A., Allie, S., & Lubben, F. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education,* 23(11), 1137-1156.

Chandler D. (2019) The kilo is dead. Long live the kilo! *MIT News Office*. https://news.mit.edu/2019/kilo-standard-change-0516

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.

Duit, R., Tesch, M. (2010). On the role of experiment in science teaching and learning – Visions and the reality of instructional practice. In Kalogiannakis, M., Stavrou, D., & Michaelides P.G. (Eds) *Proceedings of the 7th International Conference Hands-on Science. Bridging the Science and Society gap.* Rethymno, Greece. (pp. 17-30). University of Crete.

Engelhardt, P.V., Corpuz, E.G., Ozimek, D.J., & Rebello, N.S. (2004). The Teaching Experiment-What it is and what it isn't.
https://www.academia.edu/2965456/The_Teaching_Experiment_What_it_is_and_what_it_isnt

Erickson, F. (1998). Qualitative research methods for science education. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 1155–1173). Dordrecht: Kluwer Academic.

Evangelinos, D., Psillos, D., & Valassiades, O. (2002). An Investigation of Teaching and Learning about Measurement Data and their Treatment in the Introductory Physics Laboratory. In D. Psilos and H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory*. (pp. 179-190). Kluwer Academic Publishers.

Heinicke, S., & Heering, P. (2013). Discovering Randomness, Recovering Expertise: The Different Approaches of the Quality in Measurement of Coulomb and Gauss and of Today's Students. *Science & Education* 22, 483-503.

Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion**,** *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115–135.

JCGM (2008), Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections). Copyright of this document is shared jointly by the JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology) member organizations (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML).

Katu, N., Lunetta, V., & van den Berg, E. (1993). Teaching experiment methodology in the study of electricity concepts. Paper Presented at the 3rd International Seminar on Misconceptions and Education Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, NY.

Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619–633.

Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education,* 18(8), 955-968.

Lubben, F., Campbell, B., Buffler, A., & Allie, S. (2001). Point and Set Reasoning in Practical Science Measurement by Entering University Freshmen. *Science Education,* 85(4), 311-327.

Mayring, P., (2014). Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution. Social Science Open Access Repository. https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/39517

Meeheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching—learning sequences: aims and tools for science education research*. International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.

Osborne, R.J. & Gilbert, J.K. (1980). A Technique for Exploring Students' Views of the World. *Physics education*, 15, 376-379.

Psillos, D., Tselfes, V., & Kariotoglou, P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching—learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education,* 26(5), 555-578.

Ramsey, M., & Ellison, S. (2007). *Measurement uncertainty arising from sampling: A guide to methods and approaches*. Eurachem/EUROLAB/CITAC/Nordtest/AMC.

Robinson, A. (2008). *Η ιστορία των μετρήσεων*. (Μτφ. Ζαρρης Γ.). Polaris.

Stavrou, D., Duit, R., & Komorek, M. (2008). A teaching and learning sequence about the interplay of chance and determinism in non-linear systems. *Physics Education*, 43(4), 417-422.

UNESCO, (1994). *Οδηγός του Εκπαιδευτικού για τη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο Δημοτικό και το Γυμνάσιο*, 2η Ελληνική Έκδοση, RED-T-POINT, Αθήνα

Velentzas, A., & Halkia, K. (2010). The 'Heisenberg's Microscope' as an Example of Using Thought Experiments in Teaching Physics Theories to Students of the Upper Secondary School. *Research in Science Education*, 41(4), 525-539.

Volkwyn, T.S., Allie, S., Buffler, A., & Lubben, F. (2008). Impact of a conventional introductory laboratory course on the understanding of measurement. *Physical Review Special Topics : Physics Education Research* 4, 010108.

Αναστασάκης, Ε., Απέκης, Λ., Βλαστού, Ρ., Κατσούφης, Η., Κώνστα, Α., Νταουκάκη, Δ., Παπαδόπουλος, Κ., Πέογλος, Β., Πίσσης, Π., Πίτλιγγερ, Δ., Στεφανής, Κ., Χριστοδουλίδης, Κ., Μακροπούλου, Μ., & Ράπτης, Γ. (2010) *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής Τόμος 1*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Βαλασιάδης, Ο., Δημητρακόπουλος, Γ., Δημητριάδης, Χ., Ευαγγελινός, Δ., Παλούρα, Ε., Πολάτογλου, Χ., Σαμαράς, Ι., Χατζηκρανιώτης, Ε., & Χρυσαφής, Κ. (2012). *Εργαστηριακές Ασκήσεις Γενικής Φυσικής*. Εκδόσεις COPY CITY, Θεσσαλονίκη

Βελέντζας Α., Χαλκιά Κ., (2015). Ανάλυση των πειραματικών δραστηριοτήτων των εργαστηριακών οδηγών του Λυκείου στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών. *9ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική και τις νέες τεχνολογίες στην εκπαίδευση (ΕΝΕΦΕΤ).* Θεσσαλονίκη 8-10 Μαΐου 2015.

Βενιέρη, Α. (1992). *Ιστορική ανασκόπηση μετρήσεων*. Σεμινάριο Μετρολογίας. ΤΕΕ, Αθήνα.

Δημητριάδη, Κ. (2012). Διδασκαλία Βασικών Εννοιών της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: Διερεύνηση Διαδικασιών Μάθησης (Διδακτορική Διατριβή), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δούκας, Γ. (2007). *Από τις Ανθρωπομετρικές Μονάδες στις Μετρήσεις με Δορυφόρους. Η Εξέλιξη της Μετρολογίας ως προς την Επιστήμη της* Γεωδαισίας. 2ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Θεσσαλονίκη.

Δρης, Ε. (2015). *Περί μονάδων μέτρησης και άλλα σχετικά.*

Ευαγγελινός, Δ., & Βαλασιάδης, Ο. (1998). *Μια μετρολογική και κατά Bayes προσέγγιση για την εισαγωγή πρωτοετών Φυσικών στην επεξεργασία μετρήσεων.* (Πρακτικά 1ου Συνέδριου) Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, 114-120.

Καριώτογλου, Π. (2006). *Παιδαγωγική γνώση περιεχομένου φυσικών επιστημών.* Γράφημα. Θεσσαλονίκη.

Κόκκοτας, Π. (2002). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Μέρος ΙΙ*, Ιδιωτική έκδοση, Αθήνα

Κολιόπουλος, Δ. (2006). *Θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης.* Μεταίχμιο. Αθήνα

Κουλαϊδής, Β. (2001). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* Τόμος Α, έκδοση ΕΑΠ, Πάτρα

Κώτσης, Κ. (2007). Η ικανοποιητική δεξιότητα των τυφλών μαθητών στη διαδικασία της μέτρησης, σε αντίθεση με τους βλέποντες, τεκμήριο ορθότερης αντίληψης διαστάσεων αντικειμένων και εννοιών της φυσικής. (Πρακτικά 5ου Συνεδρίου) Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην εκπαίδευση, 5(Α) 149-157. http://kodipheet.chem.uoi.gr/fifth_conf/pdf_synedriou/teyxos_A/2_Oi_FE_sthn_Avathmia/2_FYS-17telikiF.pdf

Λαγουμιντζής, Γ., Βλαχόπουλος, Γ., & Κουτσογίαννης, Κ. (2015). *Μεθοδολογία της έρευνας στις επιστήμες υγείας*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5356

Παναγάκος, Ι. (2001). Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και κοινωνικοσυναισθηματική ανάπτυξη των μαθητών κατά την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων. *Επιθεώρηση εκπαιδευτικών θεμάτων. Παιδαγωγικό ινστιτούτο*. Τεύχος 6. 80-90. http://blogs.sch.gr/gmamakis/files/2015/01/i-panagakos.pdf

Χαλκιά, Κ. (2014). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες.* Πατάκης, Αθήνα

Σχολικά βιβλία

Αλεξάκης, Ν., Αμπατζής, Σ., Βλάχος, Ι., Γκουγκούσης, Γ., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., & Τιμοθέου, Γ. *Φυσική Τεύχος Α΄, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας, Γ΄ Γενικού Λυκείου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Αλεξάκης, Ν., Αμπατζής, Σ., Γκουγκούσης, Γ., Κουντούρης, Β., Μοσχοβίτης, Ν., Οβαδίας, Σ., Πετρόχειλος, Κ., Σαμπράκος, Μ., & Ψαλίδας, Α. *Φυσική Γενικής Παιδείας, Β΄ Γενικού Λυκείου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. *Εργαστηριακός Οδηγός, Φυσική Β΄ Γυμνασίου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. *Φυσική Β΄ Γυμνασίου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. *Φυσική Γ΄ Γυμνασίου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. *Εργαστηριακός Οδηγός, Φυσική Γ΄ Γυμνασίου.* Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσίμπα, Λ. *Τετράδιο Εργασιών, Φυσική Γ΄ Γυμνασίου.* Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Ιωάννου, Α., Καραπαναγίωτης, Β., Κόκκοτας, Π., Ντάνος, Γ., Περιστερόπουλος, Π., Πήττας, Α., Ράπτης, Σ., & Τιμοθέου Γ. *Φυσική Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών, Β΄ Γενικού Λυκείου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., & Τιμοθέου, Β. *Φυσική γενικής παιδείας, Α΄ Γενικού Λυκείου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., & Τιμοθέου, Β. *Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Γενικής Παιδείας, Α΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., & Τιμοθέου, Β. *Τετράδιο Εργαστηριακών Ασκήσεων Φυσικής Γενικής Παιδείας, Α΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. *Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Β΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα.

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. *Τετράδιο Εργαστηριακών Ασκήσεων Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Β΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα.

Καλκάνης, Γ.Θ., Γκικοπούλου, Ο., Καπότης, Ε., Γουσόπουλος, Δ., Πατρινόπουλος, Μ., Τσάκωνας, Π., Δημητριάδης, Π., Παπατσίμπα, Λ., Μιτζήθρας, Κ., Καπόγιαννης, Α., Σωτηρόπουλος, Δ.Ι., Πολίτης, Σ. (2013). *Η Φυσική με Πειράματα, Α΄ Γυμνασίου*. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Κοψιαΰτης, Π., & Συμεωνίδης, Χ. *Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Γενικής Παιδείας, Β΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Κοψιαΰτης, Π., & Συμεωνίδης, Χ. *Τετράδιο Εργαστηρίου Φυσικής Γενικής Παιδείας, Β΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. *Φυσική Τεύχος Β΄, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας, Γ΄ Γενικού Λυκείου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. *Φυσική Τεύχος Γ΄, Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών και Σπουδών Υγείας, Γ΄ Γενικού Λυκείου.* Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», Αθήνα

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. *Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Γ΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα.

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., & Ράπτης, Σ. *Τετράδιο Εργαστηριακών Ασκήσεων Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Γ΄ Γενικού Λυκείου.* Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα.