

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 13 (2024)

13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: ΠΡΑΚΤΙΚΑ

**13^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

**Νέες Τάσεις και Έρευνα στη Μάθηση, τη Διδασκαλία
και τις Τεχνολογίες στις Φυσικές Επιστήμες**

10 - 12 Νοεμβρίου 2023

Διοργάνωση
Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Πληροφορίες
synedrio2023.enepnet.gr

Τόπος διεξαγωγής
Παιδαγωγικό Τμήμα
Δημοτικής Εκπαίδευσης

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
Επιμέλεια έκδοσης:
Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης, Γεώργιος Στύλος,
Γεωργία Βακάρου, Λεωνίδα Γαβριλάς, Δημήτρης Πανάγου

Ιωάννινα
10 έως 12 Νοεμβρίου 2023

ΕΝΕΦΕΤ
Προσέγγιση για την αποδοτικότητα στην εκπαίδευση
και στην τεχνολογία

Διδακτική μαθησιακή ακολουθία για εισαγωγική διδασκαλία στο εργαστήριο Φυσικής Λυκείου

Αλέξανδρος Κατέρης, Σεραφείμ Τσούκος,
Παναγιώτης Λάζος, Παύλος Τζαμαλής, Αθανάσιος
Βελέντζας

doi: [10.12681/codiste.6826](https://doi.org/10.12681/codiste.6826)

ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΓΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΛΥΚΕΙΟΥ

Αλέξανδρος Κατέρης¹, Σεραφείμ Τσούκος², Παναγιώτης Λάζος³, Παύλος Τζαμαλής⁴, Αθανάσιος Βελέντζας⁵

¹Σύμβουλος Εκπαίδευσης ΠΕ04 Ανατολικής Αττικής, ²Καθηγήτρια Φυσικής 2^ο Πρότυπο Γυμνάσιο Αθηνών, ³Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Ηλιούπολης, Π.Τ.Δ.Ε. Ε.Κ.ΠΑ., ⁴Ε.ΔΙ.Π., Εργαστήριο Φυσικής Τμήμα Βιοτεχνολογίας Γ.Π.Α., ⁵Ε.ΔΙ.Π. Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. Ε.Μ.Π.

ptzamal@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (ΔΜΑ) που σκοπεύει στην εξοικείωση των μαθητών/τριών με βασικές έννοιες που αφορούν στην διδασκαλία της Φυσικής στο εργαστήριο (μέτρηση-αβεβαιότητα-μέση τιμή) καθώς και στην άσκησή τους στη λήψη μετρήσεων και στην επεξεργασία των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται αναλυτικά, το σκεπτικό δόμησης της ΔΜΑ, η δομή, τα ευρήματα από την εφαρμογή της, καθώς και τα σημεία βελτίωσης μετά την ανατροφοδότηση από την υλοποίησή της. Συζητούνται επίσης οι δυσκολίες που συνάντησαν οι μαθητές και γίνονται προτάσεις προς τους εκπαιδευτικούς με βάση αυτά τα ευρήματα.

Λέξεις κλειδιά: Εργαστήριο Φυσικής, Μέτρηση, Αβεβαιότητα

TEACHING LEARNING SEQUENCE FOR THE INTRODUCTORY PHYSICS LAB

Alexandros Kateris¹, Serafeim Tsoukos², Panagiotis Lazos³, Pavlos Tzamalidis⁴, Athanasios Velentzas⁵

¹Consultant of Education in Natural Sciences in the prefecture of East Attiki, ²Physics Teacher 2nd Experimental Junior High School of Athens, ³4th Laboratory Center of Natural Sciences of Athens, Department of Pedagogy and Primary Education at the National & Kapodistrian University of Athens, ⁴Physics Laboratory Biotechnology Department Agricultural University of Athens, ⁵Physics Department, National Technical University of Athens

ptzamal@aua.gr

ABSTRACT

In the present work, a Teaching Learning Sequence (TLS) about the work of students in the physics lab is presented. The learning objectives of this TLS are to familiarize students with basic concepts related to the teaching of physics in the laboratory (measurement–uncertainty–average value) as well as to practice them on the issues of taking measurements and processing data. More specifically, the rationale for structuring the TLS is presented, as well as the findings from its implementation and the points of improvement after feedback from this implementation. The difficulties encountered by the students are discussed and suggestions are made to teachers based on these findings.

Keywords: Physics Laboratory, Measurement, Uncertainty

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτέλεση πειραμάτων θεωρείται άρρηκτα συνδεδεμένη με τις Φυσικές Επιστήμες. Διάσημοι επιστήμονες, υποστηρίζουν ότι το πείραμα είναι βασικό στοιχείο της επιστήμης, έτσι για παράδειγμα ο Feynman (1963) αναφέρει ότι «Ο τελικός κριτής κάθε (επιστημονικής) γνώσης είναι το πείραμα. Το πείραμα είναι ο μόνος κριτής της επιστημονικής αλήθειας». Το πείραμα ιστορικά έχει επιτελέσει μια σειρά από διαφορετικούς ρόλους στην εξέλιξη της επιστήμης, όπως τον έλεγχο της ορθότητας μιας θεωρίας, την ανάδειξη της ανάγκης για μια νέα θεωρία, την παραγωγή τεκμηρίων για την ύπαρξη των οντοτήτων στις οποίες αναφέρονται οι θεωρίες, την επίδειξη ενός φαινομένου που είτε έχει προβλεφθεί είτε ανακαλύπτεται από το πείραμα καθώς δεν έχει προβλεφθεί από τις προϋπάρχουσες θεωρίες, καθώς και κρίσιμα πειράματα για την επιλογή μεταξύ ανταγωνιστικών θεωριών (Franklin, 1999).

Η χρησιμότητα της εκτέλεσης πειραμάτων στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης είναι καθολικά αποδεκτή και η συνήθης πρακτική είναι να πραγματοποιούνται πειράματα στα οποία οι σπουδαστές ακολουθούν μια ακολουθία με οδηγίες και σπανιότερα πειράματα στα οποία απαιτείται από τους σπουδαστές να πάρουν κάποια πρωτοβουλία στο σχεδιασμό της όλης διαδικασίας (Duit & Tesch, 2010). Οι βασικοί στόχοι της εργασίας στο εργαστήριο είναι να αποκτήσουν οι σπουδαστές τη σχετική με το πείραμα γνώση περιεχομένου, οικοδομώντας ταυτόχρονα το αντίστοιχο εννοιολογικό πλαίσιο, να ασκηθούν στις μεθόδους της επιστήμης, να αναπτύξουν ενδιαφέρον και αν είναι δυνατόν θετική στάση προς την επιστήμη, όπως επίσης και τις σχετικές δεξιότητες που σχετίζονται με τον πειραματισμό (Hodson, 1996).

Στην Ελλάδα, η εργαστηριακή διδασκαλία στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι περιορισμένη και σε καμία περίπτωση δεν εφαρμόζεται με συντεταγμένο τρόπο. Πιθανές αιτίες μπορεί να είναι: α) το ωρολόγιο πρόγραμμα που είναι μη ρεαλιστικό και δεν δίνει τον απαραίτητο χρόνο για την άσκηση στο εργαστήριο, β) η μορφή των γραπτών αξιολογήσεων, γ) ο μεγάλος αριθμός μαθητών ανά τμήμα, δ) το γεγονός ότι κάποια εργαστήρια σε σχολικές μονάδες χρησιμοποιούνται και ως αίθουσες διδασκαλίας (Γκικοπούλου κ.ά., 2017).

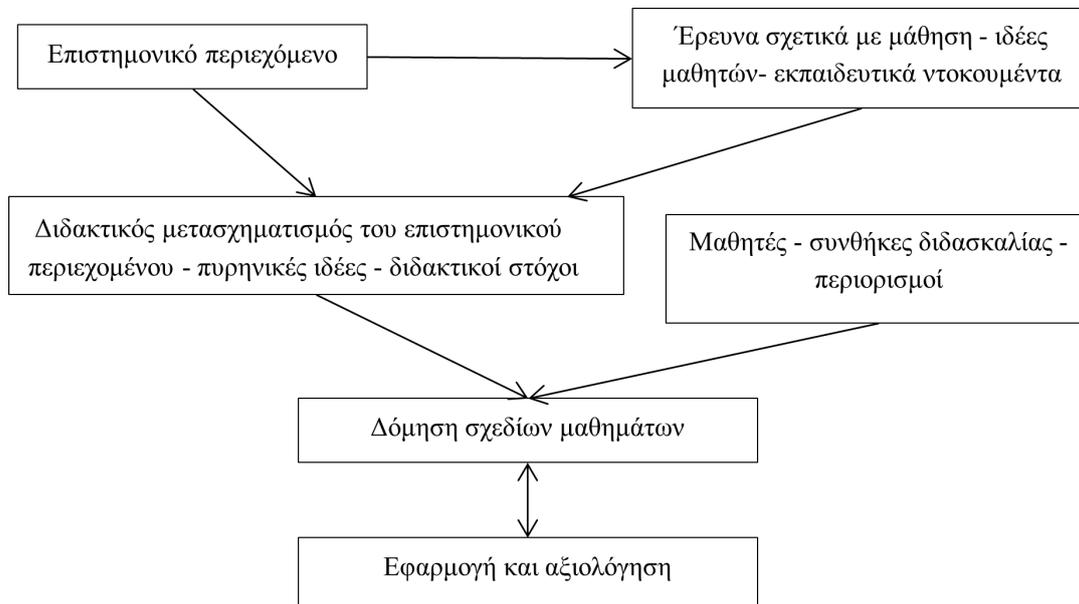
Σύμφωνα με τα Προγράμματα Σπουδών (ΠΣ), που προβλέπεται να εφαρμοστούν τα επόμενα χρόνια, προτείνονται αλλαγές που ενσωματώνουν τον πειραματισμό υποχρεωτικά στην διδασκαλία. Ειδικότερα για το λύκειο, το ΠΣ της Φυσικής (ΦΕΚ 5381/Β/19-11-2021) προβλέπει υποχρεωτικό πειραματισμό και αξιολόγηση των μαθητών με εργαστηριακή αναφορά. Στην κατεύθυνση αυτή, θεωρήσαμε ωφέλιμο να αναπτύξουμε και να δοκιμάσουμε μια Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (ΔΜΑ) που είχε ως σκοπό την εξοικείωση των μαθητών με βασικές έννοιες που αφορούν στην πειραματική διαδικασία (μέτρηση – αβεβαιότητα – μέση τιμή) καθώς και την άσκησή τους στη λήψη μετρήσεων και την επεξεργασία δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε την ΔΜΑ που αναπτύξαμε και εφαρμόσαμε πιλοτικά. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζουμε το σκεπτικό με το οποίο σχεδιάστηκε η ΔΜΑ, την δομή της, τα ευρήματα από την εφαρμογή και τα σημεία βελτίωσής της μετά την ανατροφοδότηση από την εφαρμογή της. Συζητούνται τέλος οι δυσκολίες που συνάντησαν οι μαθητές, ενώ γίνονται προτάσεις προς εκπαιδευτικούς, με βάση τα ευρήματα.

Η ΔΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΜΑ

Ένα από τα σημαντικά πεδία έρευνας στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών είναι ο σχεδιασμός η ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση ΔΜΑ. Με τον όρο ΔΜΑ εννοούμε ένα μικρής κλίμακας «πρόγραμμα σπουδών», που περιορίζεται σε μια ενότητα ή περιοχή ενοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει δραστηριότητες μάθησης και διδασκαλίας οι οποίες αποτελούν αποτέλεσμα εμπειρικής έρευνας και είναι προσαρμοσμένες στη συλλογιστική των μαθητών (Méheut & Psillos, 2004). Έχουν προταθεί διάφορα θεωρητικά πλαίσια για το σχεδιασμό και ανάπτυξη των ΔΜΑ. Οι Méheut & Psillos (2004) διατυπώνουν την άποψη ότι οι εκπαιδευτικοί, κατά τον σχεδιασμό μίας ΔΜΑ, δεν είναι ανάγκη να ακολουθούν αυστηρά κάποιο προτεινόμενο πρότυπο, αλλά να λαμβάνουν υπόψη τους τόσο τις προτιμήσεις τους όσο και το συνολικό πλαίσιο εφαρμογής της. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη της παρούσας ΔΜΑ παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Μετά την ανάλυση του επιστημονικού περιεχομένου και την μελέτη της βιβλιογραφίας για τη μάθηση και τη διδασκαλία στην συγκεκριμένη επιστημονική περιοχή, καταλήξαμε στο προς διδασκαλία περιεχόμενο (κεντρικές ιδέες και διδακτικοί στόχοι). Κατόπιν, λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο (σχετική διδαχθείσα ύλη – χρονικοί και χωρικοί περιορισμοί) καταλήξαμε στον σχεδιασμό των διδασκαλιών. Οι διδασκαλίες πραγματοποιήθηκαν και η αξιολόγησή τους οδήγησε σε συμπεράσματα με σκοπό την βελτίωση της αρχικά σχεδιασθείσας ΔΜΑ.

Σχήμα 1. Η διαδικασία σχεδιασμού της ΔΜΑ



Το Επιστημονικό Περιεχόμενο

Για το επιστημονικό περιεχόμενο μελετήθηκε ο οδηγός της Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM 100 2008), βιβλία αναφοράς (Taylor, 1997), οι πειραματικοί οδηγοί Φυσικής του λυκείου καθώς και

πειραματικοί οδηγοί πανεπιστημιακών εργαστηριακών μαθημάτων για προπτυχιακούς φοιτητές. Το επιστημονικό περιεχόμενο που επιλέχθηκε επιγραμματικά ήταν το εξής:

- Μέτρηση (πού αποσκοπεί;)
- Σφάλματα (διαχωρισμός σε τυχαία και συστηματικά)
- Σημαντικά ψηφία
- Αβεβαιότητα (υπολογισμός σε μια μέτρηση και σε σειρά μετρήσεων)
- Διάδοση αβεβαιότητας.

Ο Διδακτικός Μετασχηματισμός

Για το διδακτικό μετασχηματισμό μελετήθηκαν εκπαιδευτικές έρευνες που έχουν γίνει σε επίπεδο κυρίως πρωτοετών φοιτητών, αλλά και μαθητών και αφορούσαν έννοιες σχετικές με την εργασία στο εργαστήριο, όπως μέτρηση, αβεβαιότητα, μέση τιμή (Allie & Buffler, 2003· Evangelinos et al., 2002· Lubben & Millar, 1996). Με βάση την μελέτη της βιβλιογραφίας καταλήξαμε σε 4 πυρηνικές ιδέες που αποτελούν τον κορμό για την δόμηση της προτεινόμενης ΔΜΑ:

- Η λήψη μετρήσεων είναι μια από τις θεμελιώδεις επιστημονικές διαδικασίες.
- Το «σφάλμα μέτρησης» δεν είναι «λάθος» αλλά «αναπόφευκτο» στοιχείο κάθε μέτρησης.
- Είναι δυνατόν να μειώσουμε τα σφάλματα σε μια μέτρηση αλλά όχι να τα μηδενίσουμε.
- Η μέτρηση αποκτά νόημα όταν συνοδεύεται από τη γνώση της αβεβαιότητάς της.

Το προς Διδασκαλία Περιεχόμενο

Το προς διδασκαλία περιεχόμενο κατανεμήθηκε σε 5 διδακτικές ώρες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Το προς διδασκαλία περιεχόμενο ανά διδακτική ώρα και ανά βήμα.

Ωρα	Βήμα	Προς Διδασκαλία Περιεχόμενο
1η	1	Η ποσοτική μελέτη των φυσικών φαινομένων, μέσω παρατηρήσεων ή πειραματικών διαδικασιών, στηρίζεται σε δεδομένα που προκύπτουν από μετρήσεις.
	2	Το αποτέλεσμα της μέτρησης εκφράζεται με ένα αριθμό και την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης. Ο αριθμός δείχνει τη σχέση του μετρούμενου μεγέθους με την μονάδα μέτρησης.
	3	Το αποτέλεσμα της μέτρησης δεν συμπίπτει με την «πραγματική» τιμή του μεγέθους που είναι άγνωστη. Ορισμός του απόλυτου και σχετικού σφάλματος.
	4	Ταξινόμηση σφαλμάτων σε τυχαία και συστηματικά.
	5	Λαμβάνοντας υπόψη διάφορες πηγές σφαλμάτων αυτά μπορεί να μειωθούν με κατάλληλες παρεμβάσεις, αλλά δεν μηδενίζονται.
2η	1	Σημαντικά ψηφία – κανόνες καθορισμού των σημαντικών ψηφίων ενός αριθμού (αποτέλεσμα μέτρησης).
	2	Κανόνες καθορισμού των σημαντικών ψηφίων στα αποτελέσματα των πράξεων.
	3	Κανόνες γραφής αποτελέσματος με τη μορφή δυνάμεων του 10.
	4	Κανόνες στρογγυλοποίησης σε ορισμένο αριθμό σημαντικών ψηφίων.
3η	1	Εκτίμηση του εύρους τιμών μεταξύ των οποίων βρίσκεται η πραγματική τιμή του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης γράφεται στη μορφή $x \pm \delta x$
	2	Εκτίμηση της αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με αναλογικό όργανο.
	3	Εκτίμηση της αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με ψηφιακό όργανο.
4η	1	Η μέση τιμή από μια σειρά επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.
	2	Η μέση απόκλιση (mean deviation) για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας μέσης τιμής.
5η	1	Στην περίπτωση που η τιμή ενός μεγέθους q προκύπτει από το άθροισμα ή τη διαφορά μεγεθών που οι τιμές τους x, y μετρήθηκαν, ο κανόνας υπολογισμού της αβεβαιότητας δq είναι $\delta q = \delta x + \delta y$.
	2	Στην περίπτωση που η τιμή μεγέθους q προκύπτει από το γινόμενο $q=xy$ ή το πηλίκο $q = x/y$ μεγεθών που οι τιμές x, y μετρήθηκαν ο κανόνας υπολογισμού της αβεβαιότητας δq είναι $\delta q = q \left(\frac{\delta x}{ x } + \frac{\delta y}{ y } \right)$.

Τα Φύλλα Εργασίας

Με βάση το περιεχόμενο σχεδιάστηκε κάθε ωριαία διδασκαλία και δομήθηκαν 5 φύλλα εργασίας, ένα για κάθε διδακτική ώρα. Φροντίσαμε, ώστε τα απαιτούμενα υλικά να είναι όσο το δυνατόν απλούστερα, προκειμένου να είναι εφικτή η πραγματοποίηση της ΔΜΑ ακόμα και σε σχολεία χωρίς αξιόλογο εργαστηριακό εξοπλισμό. Τα απαιτούμενα όργανα μέτρησης είναι: Μετροταινία, δύο δυναμόμετρα και τα κινητά τηλέφωνα των μαθητών, τα οποία με εγκατάσταση της εφαρμογής rhyrphox μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις διαφόρων μεγεθών. Χάρη στους αισθητήρες που διαθέτουν τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα, η χρήση τους στη λήψη μετρήσεων σε σχολικές εργαστηριακές δραστηριότητες γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη, ενώ έχει προταθεί η χρήση τους και στα πλαίσια διδασκαλίας για την έννοια της αβεβαιότητας στη μέτρηση (Listiaji et al., 2021). Συνοπτικά οι προτεινόμενες διαδικασίες ανά ώρα και βήμα περιγράφονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Οι προτεινόμενες διαδικασίες ανά διδακτική ώρα και ανά βήμα.

Ωρα	Βήμα	Διαδικασίες
1η	1	Οι μαθητές εκφράζουν τις απόψεις τους για τους λόγους για τους οποίους οι επιστήμονες κατά την εργασία τους εκτελούν μετρήσεις. Ακολουθεί συζήτηση στην ολομέλεια.
	2	Οι μαθητές ανά ομάδες: 1. Μετρούν και γράφουν το αποτέλεσμα της μέτρησης του πλάτους ενός βιβλίου με τη μετροταινία και του χρόνου μεταξύ δύο διαδοχικών ήχων με τα κινητά τους τηλέφωνα. 2. Γράφουν τι σημαίνει κατά τη γνώμη τους το αποτέλεσμα της ζύγισης ενός μαθητή 65 kg. Ακολουθεί συζήτηση στην ολομέλεια.
	3	1. Οι μαθητές σε ομάδες μετρούν την γωνία κλίσης ενός κεκλιμένου επιπέδου με την εφαρμογή «rhyrphox-κλίση» των κινητών τηλεφώνων, συγκρίνουν τις μετρήσεις τους και εικάζουν για τα αίτια των αποκλίσεων. 2. Εισάγεται η έννοια του σφάλματος από τον εκπαιδευτικό. Στη συνέχεια οι μαθητές μετρούν σε ομάδες με την εφαρμογή rhyrphox των κινητών τηλεφώνων την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας και υπολογίζουν ατομικά το σχετικό % σφάλμα θεωρώντας ως τιμή αναφοράς, αυτή της βιβλιογραφίας.
	4	Οι μαθητές καλούνται να αναγνωρίσουν σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις αν τα σφάλματα είναι τυχαία ή συστηματικά. Συγκεκριμένα ασχολούνται με τις περιπτώσεις όπου: 1. Ο δείκτης ενός αναλογικού ζυγού πριν τη ζύγιση δεν είναι ακριβώς στο μηδέν. 2. Μια μετροταινία, λόγω κάποιου προβλήματος στην κατασκευή της, είναι μικρότερη σε μήκος από την μέγιστη αναγραφόμενη ένδειξη. 3. Οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του χρόνου κίνησης ενός ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου μεταξύ δύο θέσεων με χρονομετρο χειρός είναι διαφορετικές μεταξύ τους.
	5	Οι μαθητές προτείνουν τρόπους μείωσης των σφαλμάτων στις προηγούμενες περιπτώσεις και αποφαινόμενοι κατά πόσο αυτά θα μπορούσαν να μηδενιστούν.
2η	1	Ο εκπαιδευτικός αναλύει το νόημα των σημαντικών ψηφίων με παραδείγματα καθώς και τους κανόνες καθορισμού τους. Στη συνέχεια οι μαθητές αναγνωρίζουν, σε διάφορες περιπτώσεις, τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων και αντιστοιχίζουν την απάντησή τους με τον κανόνα που χρησιμοποίησαν.
	2	Ο εκπαιδευτικός εξηγεί τους κανόνες καθορισμού των σημαντικών ψηφίων του αποτελέσματος μιας πράξης. Οι μαθητές υπολογίζουν τα αποτελέσματα διαφόρων πράξεων με το σωστό αριθμό σημαντικών ψηφίων και αντιστοιχίζουν την απάντησή τους με τον κανόνα που χρησιμοποίησαν.
	3	Ο εκπαιδευτικός αναλύει τους κανόνες γραφής (με τα σωστά σημαντικά ψηφία) ενός αριθμού από την απλή δεκαδική μορφή στην έκφραση με τη μορφή δυνάμεων του 10 και αντιστρόφως. Οι μαθητές απαντούν σε αντίστοιχες ερωτήσεις.
	4	Ο εκπαιδευτικός εξηγεί τους κανόνες στρογγυλοποίησης. Οι μαθητές στρογγυλοποιούν σε διαφορετικές περιπτώσεις αριθμούς σε ορισμένο αριθμό σημαντικών ψηφίων.
3η	1	Θίγεται η εννοιολογική διαφορά «σφάλματος» και «αβεβαιότητας». Οι μαθητές συζητούν την περίπτωση αντιστατών με τιμές $R_1 = (100 \pm 5) \Omega$ και $R_2 = (100 \pm 1) \Omega$ και επιλέγουν τον κατάλληλο για χρήση σε κύκλωμα που θα ελέγχει με μηχανισμό μεγάλης ακρίβειας.
	2	Οι μαθητές παρατηρούν τις κλίμακες δυο διαφορετικών δυναμόμετρων (5N-10N) και αποφασίζουν για την αβεβαιότητα μετρήσεων με καθένα από αυτά. Επιλέγουν το καταλληλότερο δυναμόμετρο για τη μέτρηση βάρους δυο σωμάτων με βάρη περίπου 4 N και 8 N.
	3	Οι μαθητές μετρούν την γωνία κλίσης ενός κεκλιμένου επιπέδου με την εφαρμογή «rhyrphox-κλίση» των κινητών τηλεφώνων και αποφασίζουν για την αβεβαιότητα της μέτρησης.

4η	1	Οι μαθητές ομαδικά με κινητά τηλέφωνα (ακουστικό χρονόμετρο - rhyrbox) μετρούν 5 φορές τον χρόνο πτώσης μιας σφαίρας από κάποιο ύψος. Στη συνέχεια: 1. Συζητούν για τους λόγους που οι μετρούμενες τιμές δεν είναι ίδιες. 2. Αποφασίζουν ως καλύτερη εκτίμηση για τη μέτρησή τους είτε την μέση τιμή των μετρήσεων είτε την πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή είτε τον μέσο όρο της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής.
	2	Εισάγεται η έννοια της μέσης απόκλισης και εξηγείται ο ορθός τρόπος γραφής του τελικού αποτελέσματος στη μορφή $x \pm \delta x$. Στη συνέχεια, ατομικά: 1. Υπολογίζουν τη μέση τιμή και τη μέση απόκλιση των μετρήσεων του χρόνου από το πείραμα της πτώσης. 2. Γράφουν το τελικό αποτέλεσμα.
5η	1	Οι μαθητές συζητούν για τις «ακραίες» τιμές που μπορεί να έχει το άθροισμα και η διαφορά μεγεθών με γνωστή τιμή και αβεβαιότητα π.χ. δύο αντιστάτες $R_1 = (100 \pm 5) \Omega$ και $R_2 = (100 \pm 1) \Omega$. Ο εκπαιδευτικός βοηθά στη συζήτηση για την εξαγωγή του κανόνα.
	2	1. Οι μαθητές συζητούν σε ομάδες για τις «ακραίες» τιμές που μπορεί να έχει το γινόμενο (και το πηλίκο) μεγεθών με γνωστή τιμή και αβεβαιότητα π.χ. (για το γινόμενο) ο υπολογισμός εμβαδού ορθογωνίου με πλευρές $(9,2 \pm 0,1) \text{ cm}$ και $(10,5 \pm 0,3) \text{ cm}$. Ο εκπαιδευτικός βοηθά στη συζήτηση και δίνει τον κανόνα. 2. Οι μαθητές ατομικά εφαρμόζουν τον κανόνα στον υπολογισμό του g από τις μετρήσεις χρόνου και ύψους κατά την ελεύθερη πτώση. Τονίζεται ότι οι μαθητές πρώτη φορά αντιμετωπίζουν αυτή τη διαδικασία.

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΜΑ

Η προτεινόμενη ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε δύο τμήματα προσανατολισμού θετικών σπουδών της Β' Λυκείου ενός Προτύπου Λυκείου των Αθηνών. Συνολικά τριάντα τέσσερις (34) μαθητές/τριες συμμετείχαν στην εφαρμογή. Οι μαθητές/τριες χωρίστηκαν σε δέκα (10) τριμελείς ή τετραμελείς ομάδες. Κάθε μαθητής συμπλήρωνε ένα ατομικό φύλλο εργασίας, καθώς κάποια από τα ερωτήματα έπρεπε να απαντηθούν ατομικά (π.χ. η διατύπωση προβλέψεων και απόψεων, ή ορισμένοι υπολογισμοί). Ωστόσο, άλλα ερωτήματα απαιτούσαν απάντηση από όλη την ομάδα κατόπιν συζήτησής τους.

Όλοι οι ερευνητές είχαν συμμετοχή στη εφαρμογή της ΔΜΑ. Κάθε ερευνητής είχε τον ρόλο του διδάσκοντα για μια διδακτική ώρα, ενώ οι υπόλοιποι τέσσερις, ως επιβλέποντες, κατέγραφαν τις παρατηρήσεις τους σε κάθε βήμα του σχεδίου μαθήματος. Συγκεκριμένα, κάθε ερευνητής επέβλεπε δύο ομάδες 3-4 μαθητών, παρακολουθούσε τις συζητήσεις ανάμεσα στα μέλη τους και κατέγραφε τα σημεία στα οποία εμφανίστηκαν δυσκολίες, εναλλακτικές ιδέες, καθώς και ενδιαφέροντα σχόλια ή απόψεις των μαθητών. Η έρευνα χρησιμοποίησε ως δεδομένα τόσο τα συμπληρωμένα ατομικά φύλλα εργασίας όσο και τις σημειώσεις των ερευνητών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα ευρήματα ανά βήμα, τα οποία δεν είναι δυνατόν να παρουσιαστούν αναλυτικά στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται ανά έννοια του περιεχομένου διδασκαλίας με τη σειρά που αυτές αντιστοιχούν στις 5 διδακτικές ώρες.

1. Μέτρηση-Σφάλμα μέτρησης

Οι μαθητές, χωρίς να έχουν διδαχθεί σε προηγούμενες τάξεις ρητά τους λόγους για τους οποίους οι επιστήμονες εκτελούν πειράματα, εξέφρασαν κυρίως την άποψη ότι οι επιστήμονες πειραματίζονται προκειμένου να επιβεβαιώσουν/τεκμηριώσουν/επαληθεύσουν απόψεις/θεωρίες. Δεν φάνηκε να δυσκολεύτηκαν να αντιληφθούν ότι το «σφάλμα μέτρησης» δεν είναι «λάθος», αλλά είναι «αναπόφευκτο» στοιχείο μιας μέτρησης. Κατανόησαν τη διαφορά τυχαίου και συστηματικού σφάλματος, ωστόσο δυσκολεύτηκαν στην «διόρθωση» των συστηματικών σφαλμάτων όταν αυτά απαιτούσαν όχι ενιαία αλλά «αναλογική» διόρθωση. Για παράδειγμα, όταν μετρούν μήκη με μετροταινία που εκ κατασκευής είναι κατά 2 cm μικρότερη από την μέγιστη ένδειξή της, διορθώνουν κατά 2 cm όλες τις μετρήσεις μικρών ή μεγάλων

μηκών. Το σημείο αυτό φαίνεται να απαιτεί ιδιαίτερη σημασία και επιμονή στην παρέμβαση του εκπαιδευτικού.

2. Σημαντικά ψηφία-Στρογγυλοποίηση

Με την προτεινόμενη διαδικασία στη ΔΜΑ φάνηκε ότι οι μαθητές συνειδητοποίησαν ότι το όργανο μέτρησης καθορίζει την ακρίβεια με την οποία θα γραφεί το αποτέλεσμα μιας μέτρησης και ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών, συγκεκριμένα το 80%, φάνηκε να είναι σε θέση να γράψει το αποτέλεσμα μιας μέτρησης με το σωστό αριθμό σημαντικών ψηφίων. Οι περιπτώσεις που δυσκόλεψαν τους μαθητές και απαιτούν έμφαση στη διδασκαλία από τον εκπαιδευτικό είναι:

(α) Όταν το αποτέλεσμα δίνεται ή απαιτείται να γραφεί με τον επιστημονικό συμβολισμό χρησιμοποιώντας τις δυνάμεις του δέκα.

(β) Όταν απαιτείται η εύρεση και αναγραφή του αποτελέσματος αθροίσματος δεκαδικών με ακεραίους.

(γ) Όταν απαιτείται η εύρεση και αναγραφή του αποτελέσματος μιας διαφοράς με τα δεκαδικά ψηφία να είναι μηδενικά (για παράδειγμα $345,009\text{g} - 23,009\text{g}$).

Σχετικά με την στρογγυλοποίηση τιμών με ορισμένο αριθμό σημαντικών ψηφίων οι μαθητές δεν φάνηκε να δυσκολεύονται.

3. Αβεβαιότητα Αποτελέσματος Μέτρησης

Φάνηκε να γίνεται κατανοητό ότι η εκτίμηση και αναφορά της αβεβαιότητας στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης είναι απαραίτητη ως επιστημονική γνώση και ως σημαντικό στοιχείο στις τεχνολογικές εφαρμογές. Οι μαθητές δεν δυσκολεύτηκαν στο διαχωρισμό των οργάνων σε αναλογικά και ψηφιακά. Στην εκτίμηση της αβεβαιότητας σε ψηφιακά όργανα δεν παρουσιάστηκε κάποια δυσκολία ωστόσο, σημαντική δυσκολία εμφανίστηκε στην αναγραφή της αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση με αναλογικό όργανο και η δυσκολία αυτή φάνηκε να εδράζεται στην δυσκολία αρκετών μαθητών να βρουν την ελάχιστη υποδιαίρεση μιας κλίμακας. Αυτό είναι ένα σημείο που φαίνεται ότι χρειάζεται ιδιαίτερη επιμονή και παρέμβαση από τον εκπαιδευτικό καθώς οι μαθητές παρόλο που είναι στο λύκειο δυσκολεύονται με τους δεκαδικούς αριθμούς.

4. Μέση Τιμή-Αβεβαιότητα Μέσης Τιμής

Οι μαθητές φάνηκε να γνωρίζουν από προηγούμενες τάξεις, χωρίς αιτιολόγηση, ότι στην περίπτωση των τυχαίων σφαλμάτων εργαστηριακών μετρήσεων η μέση τιμή αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση για την πραγματική τιμή. Η αβεβαιότητα της μέσης τιμής (ως μέση απόκλιση) φάνηκε από τη συζήτηση να γίνεται κατανοητή από τους μαθητές. Επίσης, φάνηκε ότι είναι σε θέση να εκτελέσουν την διαδικασία υπολογισμού της.

Ο υπολογισμός της μέσης τιμής και της αβεβαιότητας κατά τη λήψη επαναλαμβανόμενων μετρήσεων παρουσίασε κάποιες δυσκολίες. Οι δυσκολίες, δεν οφειλόταν στην εφαρμογή των σχέσεων που δίνουν την μέση τιμή και την αβεβαιότητά της αλλά σε πράξεις, σε στρογγυλοποίηση στο σωστό αριθμό σημαντικών ψηφίων ή/και στη γραφή των δεκαδικών αριθμών. Επίσης, ένα σημείο στο οποίο δεν απάντησαν σωστά το 1/3 των μαθητών είναι ότι κατά την αναγραφή του τελικού αποτελέσματος οι απαντήσεις δεν είχαν την σωστή αντιστοιχία μεταξύ των ψηφίων της μέσης τιμής με αυτά της αβεβαιότητας. Αυτό είναι ένα σημείο το οποίο φαίνεται πως χρήζει ιδιαίτερης προσπάθειας και επιμονής από τον εκπαιδευτικό που θα χρησιμοποιήσει την προτεινόμενη διδακτική ακολουθία.

5. Διάδοση της Αβεβαιότητας

Φάνηκε ότι οι μαθητές μέσω συγκεκριμένων παραδειγμάτων αντιλήφθηκαν ότι η αβεβαιότητα ενός παράγωγου μεγέθους είναι διαφορετική από την αβεβαιότητα των επιμέρους μεγεθών από τα οποία το παράγωγο μέγεθος προκύπτει. Οι μαθητές με την βοήθεια του εκπαιδευτικού κατάφεραν να εκτιμήσουν το εύρος της αβεβαιότητας σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως εύρεση αβεβαιότητας σε ολική αντίσταση ή σε εμβαδό επιφανείας, ωστόσο δυσκολεύτηκαν να διατυπώσουν από μόνοι τους ένα γενικό κανόνα. Οι μαθητές ήλθαν πρώτη φορά σε επαφή με την έννοια της διάδοσης σφάλματος και δεν είχαν ποτέ εφαρμόσει τους κανόνες. Από τα ευρήματα μπορούμε να πούμε ότι οι μαθητές κατανοούν με συγκεκριμένα παραδείγματα την αβεβαιότητα του αποτελέσματος πράξεων, ωστόσο χρειάζεται μεγαλύτερη εξοικείωση και άσκηση με επανάληψη των διαδικασιών πολλές φορές και σε διάφορα πειράματα ώστε να καταφέρουν να εμπεδώσουν την εφαρμογή των κανόνων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε η διαδικασία δόμησης, η εφαρμογή και τα αποτελέσματα της εφαρμογής μιας ΔΜΑ για μαθητές λυκείου. Η ΔΜΑ προτείνεται ως εισαγωγική σειρά μαθημάτων Φυσικής προκειμένου οι μαθητές να εξοικειωθούν με έννοιες και διαδικασίες σχετικές με την εργασία στο εργαστήριο Φυσικής. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της εφαρμογής, η διδασκαλία αυτής της ΔΜΑ βοηθάει όντως τους μαθητές στο να προσεγγίσουν έννοιες όπως αυτές της μέτρησης, του σφάλματος, της αβεβαιότητας μέτρησης και σειράς μετρήσεων καθώς και της διάδοσης της αβεβαιότητας.

Τα περισσότερα σημεία δυσκολίας προέκυψαν από την έλλειψη του απαιτούμενου μαθηματικού υποβάθρου και συγκεκριμένα υπήρξαν εμπόδια που οφείλονταν στην ανάγνωση κλίμακας, στους δεκαδικούς αριθμούς και τις δυνάμεις του 10. Τα σημεία αυτά αναφέρονται στα ευρήματα της έρευνας και σε μια επόμενη εφαρμογή της ΔΜΑ οι εκπαιδευτικοί που θα την εφαρμόσουν θα πρέπει να δώσουν μεγαλύτερη έμφαση ή να διευρυνθεί ως δίωρο η 2^η διδακτική ώρα με περισσότερα παραδείγματα.

Η εφαρμογή τις ΔΜΑ εξ ανάγκης έγινε μια μέρα σε συνεχόμενες διδακτικές ώρες πράγμα που δεν θα συμβεί στην περίπτωση εφαρμογής της σε κανονική λειτουργία σχολείου. Αυτό αποτελεί έναν περιορισμό της έρευνας σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες. Επίσης, προτείνεται πως η εφαρμογή θα ήταν καλύτερο να γίνει στα εισαγωγικά μαθήματα της Α' λυκείου ώστε οι μαθητές να εξοικειωθούν με την εργαστηριακή πρακτική στην αρχή της εκπαίδευσής τους στο λύκειο. Η εφαρμογή της ΔΜΑ έγινε σε μαθητές Β' λυκείου διότι εκεί υπήρχε η αντικειμενική δυνατότητα να πραγματοποιηθεί. Πιστεύουμε όμως ότι αυτό δεν έχει σημαντική επίπτωση στα ευρήματα καθότι οι μαθητές δεν είχαν προηγούμενη εργαστηριακή εμπειρία λόγω της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης την περίοδο της καραντίνας.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι η εφαρμογή της ΔΜΑ με τις προτεινόμενες βελτιώσεις φαίνεται να βοηθάει στην εξοικείωση των μαθητών με τις έννοιες και τις διαδικασίες της εργασίας στο εργαστήριο Φυσικών Επιστημών ιδιαίτερα αν λάβουμε υπόψη ότι οι μαθητές έρχονταν σε επαφή πρώτη φορά με αυτές τις έννοιες. Πιστεύουμε ότι αν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση οι μαθητές ασκούνται συστηματικότερα στο εργαστήριο μπορούν να ξεπεράσουν τα εμπόδια που εμφανίστηκαν κατά την εφαρμογή της ΔΜΑ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γκικοπούλου, Ο., Τσάκωνας, Π., Καλκάνης, Γ., and Τόμπρας, Γ. (2017). Ο λυκειακός πειραματισμός (;) στη φυσική. Στο Σταύρου, Δ., Μιχαηλίδη, Α., & Κοκολάκη, Α. (Επ.) *Πρακτικά 10^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης* (σελ. 705–710). Ρέθυμνο: Κρήτη.
- Allie, S., & Buffler, A. (2003). Teaching Measurement in the Introductory Physics Laboratory. *The Physics Teacher*, 41, 394. <https://doi.org/10.1119/1.1616479>
- 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.
- Evangelinos, D., Psillos, D., and Valassiades, O. (2002). An Investigation of Teaching and Learning about Measurement Data and their Treatment in the Introductory Physics Laboratory. In Psillos, D., Niedderer, H. (eds) *Teaching and Learning in the Science Laboratory. Science & Technology Education Library*, vol 16. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_19
- Feynman, R. P., Leighton R. B., and Sands, M. (1963) *The Feynman Lectures on Physics*, Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Franklin A. (1999). The Roles of Experiment. *Phys. perspect.* 1, 35-53. <https://doi.org/10.1007/s000160050004>
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion, *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115–135. <https://doi.org/10.1080/0022027980280201>
- Joint Committee for Guides in Metrology/Working Group 1 (2008). Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Ανακτήθηκε από την ηλεκτρονική διεύθυνση https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf
- Listiaji, P., Subhan, S., Daeni, F., and Karmuji. (2021). Error analysis in measuring physical quantities using various sensors on a smartphone. *Physics Education*, 56, 043006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abf69d>
- Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data, *International Journal of Science Education*, 18(8), 955-968. <https://doi.org/10.1080/0950069960180807>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research, *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Taylor, R. J. (1997). *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2nd Edition. Sausalito, California: University Science Books.