ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

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

Δεξιότητες επεξεργασίας και ερμηνείας πειραματικών δεδομένων Φυσικής από προπτυχιακούς φοιτητές

Στυλιανός Καστρινάκης, Δημήτρης Χαλκίδης

doi: 10.12681/codiste.7010

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 08/12/2025 05:19:05

ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ

Στυλιανός Καστρινάκης[1], Δημήτρης Χαλκίδης[2]

[1]Υποψήφιος Διδάκτορας ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ, [2]Απόφοιτος ΔΠΜΣ Διδακτική της Βιολογίας ΕΚΠΑ

dimchalk96@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επεξεργασία και ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα του εκπαιδευτικού εργαστηρίου Φυσικής. Αναλύθηκαν οι εργαστηριακές αναφορές άσκησης Κλασικής Μηχανικής 30 προπτυχιακών φοιτητών τριτοβάθμιας εκπαίδευσης Τεχνολογικής ειδίκευσης, ως προς τον βαθμό επιτέλεσης σχετικών δεξιοτήτων. Άνω του ενός τρίτου των φοιτητών εμφανίζει σημαντικές ελλείψεις κατά την κατασκευή γραφικών παραστάσεων. Επιπλέον, φαίνεται ιδιαίτερα συχνή η επιφανειακή κατανόηση των σφαλμάτων και των σημαντικών ψηφίων, καθώς και του ίδιου του σκοπού της άσκησης, διότι είναι πολύ συχνή η παραμέληση απάντησης στο ίδιο το αρχικό διερευνητικό ερώτημα της άσκησης με ρητή αναφορά στο εννοιολογικό επιστημονικό πλαίσιο.

Λέξεις κλειδιά: Πειραματική διδασκαλία, Διδακτική της Φυσικής, Επιστημονικές δεξιότητες

DATA ANALYSIS AND INTERPRETATION COMPETENCIES ON AN EDUCATIONAL PHYSICS EXPERIMENT BY UNDERGRADUATE STUDENTS

Stylianos Kastrinakis[1], Dimitris Chalkidis[2]

[1]PhD Candidate, School of Applied Mathematical and Physical Sciences, National Technical University of Athens, [2]Master Graduate in Didactics of Biology, National and Kapodistrian University of Athens

dimchalk96@yahoo.gr

ABSTRACT

Data analysis and interpretation are integral parts of laboratory Physics education. The scientific reports from 30 undergraduate Engineering students about a Classical Mechanics experiment were analysed concerning the practice of relevant inquiry competencies. About one third of them omit main features in graph creation. Moreover, and the conceptualization of experimental errors, and significant figures seem not to be understood to a large extent in depth. It is common not to understand the main purpose of the experiment, since students usually do not answer the initial inquiry question through explicit references to the conceptual theoretical framework.

Keywords: Educational experiment, Physics education, Scientific competencies

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεγάλο τμήμα της επιστήμης αποτελούν οι επιστημονικές δεξιότητες (scientific competencies) οι οποίες αναπτύσσονται και ασκούνται εντός της μέσω των ανάλογων επιστημονικών πρακτικών (Stroupe, 2014). Κατά τη σχολική αναπλαισίωση της επιστήμης η καλλιέργεια των επιστημονικών δεξιοτήτων οδήγησε στην ανάπτυξη των εκπαιδευτικών πειραμάτων στην τυπική εκπαίδευση (Gericke et al., 2023) μέσω ανακαλυπτικών ή διερευνητικών προσεγγίσεων (Χαλκιά, 2010˙ Hofstein & Lunetta, 2014). Η επεξεργασία πειραματικών δεδομένων αποτελεί καίριο τμήμα του εκπαιδευτικού εργαστηρίου περιλαμβάνοντας δεξιότητες όπως απάντηση ερευνητικών ερωτημάτων, οργάνωση δεδομένων, αναγνώριση ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών, χρήση μαθηματικών, γραφική απεικόνιση δεδομένων, διεξαγωγή κατάλληλων συγκρίσεων, εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει δεδομένων, και επιχειρηματολογία κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων (Κουμαράς, 2017˙ Arnold et al., 2014˙ Gericke et al., 2023˙ Osborne, 2014).

Ωστόσο, η διεξαγωγή ενός εκπαιδευτικού πειράματος, η επεξεργασία και ερμηνεία των ληφθέντων δεδομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων ενέχουν αρκετές δυσκολίες. Μαθητές και φοιτητές εμφανίζουν συχνά δυσκολίες ή λάθη σε συγκεκριμένα σημεία που μπορεί να οφείλονται σε ευρύ φάσμα αιτιών, όπως λανθασμένη εννοιολογική κατανόηση, δυσκολίες στη λογική διαδικασία ή λάθη κατά την πρακτική εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών. Στις κοινότερες δυσκολίες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία περιλαμβάνονται:

- Δυσκολία στη διάκριση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής και της σημασίας τους στο πείραμα (Arnold et al., 2014).
- Δυσκολίες κατά την κατασκευή και ερμηνεία γραφικών παραστάσεων (Pols et al., 2021). Κατά την κατασκευή γραφικών παραστάσεων είναι αρκετά κοινή δυσκολία η χάραξη ευθείας, ή εν γένει καμπύλης, που διέρχεται ανάμεσα από τα σημεία των παρατηρήσεων. Πολλές φορές οι εκπαιδευόμενοι συνδέουν τα σημεία σχηματίζοντας τεθλασμένη γραμμή αντί καμπύλης, ή βρίσκουν συμβιβαστικές λύσεις όπως η καμπύλωση της ευθείας ώστε να συμπεριλάβει τα σημεία που βρίσκονται αρκετά κοντά της, αλλά όχι ακριβώς πάνω σε αυτήν (Pols et al., 2021). Άλλες δυσκολίες περιλαμβάνουν τη μη αναγραφή φυσικών μεγεθών ή μονάδων μέτρησης στους άξονες της γραφικής παράστασης (Pols et al., 2021).
- Δυσκολίες κατά τον χειρισμό σημαντικών ψηφίων. Είναι πολύ συχνή η αντίληψη στους εκπαιδευόμενους πως όσο περισσότερα δεκαδικά ψηφία περιλαμβάνονται στα αριθμητικά αποτελέσματα, τόσο το καλύτερο είναι, ανεξαρτήτως από τις συνθήκες (περιορισμούς) μέτρησης και τα σφάλματα της άσκησης (Kok et al., 2019).
- Η αδυναμία ανίχνευσης συγχυτικών παραγόντων. Συχνά οι εκπαιδευόμενοι δεν μπορούν να αποδώσουν αποκλίσεις από τα αναμενόμενα αποτελέσματα σε πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες του πειράματος ή αδυνατούν να εξηγήσουν πώς η μεταβολή ορισμένων μεταβλητών, που θα έπρεπε να παραμείνουν σταθερές, μπορεί να μεταβάλει τα πειραματικά αποτελέσματα (Arnold et al., 2014).
- Η εξαγωγή συμπερασμάτων που δεν είναι συμβατά με τα δεδομένα (Kanari & Millar, 2004˙ Pols et al., 2021). Παρόλο που η αιτιολογημένη εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει δεδομένων είναι κομβικό στοιχείο για τη διερευνητική μάθηση (Bell et el., 2005), δεν επιτυγχάνεται πάντα. Σε αυτήν την περίπτωση πολλές φορές η παράφραση ή επανάληψη των αποτελεσμάτων θεωρείται από τους εκπαιδευόμενους ως συμπέρασμα (Arnold et al., 2014˙ Pols et al., 2021). Σε άλλες περιπτώσεις μελέτης ερευνητικής υπόθεσης που αφορά μια ευρέως αποδεκτή φυσική σχέση οι εκπαιδευόμενοι συμπεραίνουν ότι η υπόθεση επαληθεύεται ακόμα και αν τα αποτελέσματα δεν συνηγορούν προς

κάτι τέτοιο (Kanari & Millar, 2004). Πιθανώς, σε αυτό να συμβάλει ότι τα υπό εξέταση φυσικά φαινόμενα είναι συνήθως ακόμα νέα στους εκπαιδευόμενους και σε πολλές περιπτώσεις κατανοούν το εννοιολογικό τους περιεχόμενου παράλληλα με την εργαστηριακή άσκηση (Gericke et al., 2023). Σε αρκετές περιπτώσεις η άσκηση και διατύπωση επιχειρημάτων σε γραπτό λόγο ως έναν συμπληρωματικό μέσο στα μαθηματικά δεδομένα δυσκολεύει, εν γένει, τους εκπαιδευόμενους (Gericke et al., 2023˙ Hofstein & Miller, 2003).

- Η αδυναμία ή απροθυμία κατανόησης του σκοπού του εργαστηρίου. Η δυνατότητα κατανόησης του σκοπού του εργαστηρίου ή της σύνδεσης του εργαστηρίου με τη θεωρία είναι ιδιαίτερα συχνή στους εκπαιδευόμενους. Πολλές φορές αυτό οφείλεται στην υπερβολική έμφαση και διδακτικό χρόνο που δίνεται σε πρακτικά ζητήματα λήψης και επεξεργασίας δεδομένων και αντίστοιχη υποβάθμιση του σκοπού του εργαστηρίου και της σύνδεσης με τη θεωρία (Pols & Diepenbroek, 2023). Σε άλλες περιπτώσεις η παροχή αναλυτικής καθοδήγησης βήμα-προς-βήμα για τη λήψη και επεξεργασία δεδομένων που παρέχεται στις πιο καθοδηγητικές μορφές διερεύνησης (Bell et al., 2005) έχει κατηγορηθεί ότι ωθεί τους εκπαιδευόμενους να εφαρμόζουν τα βήματα μηχανικά του εργαστηριακού οδηγού χωρίς να υπάρχει αντίστοιχη κατανόηση του σκοπού τους και βαθύτερη κατανόηση του εργαστηρίου και του σκοπού του (Χαλκιά, 2010˙ Hofstein & Lunetta, 2004). Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν γίνεται καν κατανοητό ποιες μεταβλητές ή φυσικά μεγέθη εμπλέκονται στον πειραματικό έλεγχο (Kanari & Millar, 2004).
- Αδυναμία κατανόησης και προσδιορισμού των σφαλμάτων ή περιορισμών του εργαστηρίου. Συχνά, ιδίως σε μικρότερες ηλικία, η ορθότητα των αποτελεσμάτων θεωρείται αδιαμφισβήτητη και οποιαδήποτε ασυμφωνία με την ερευνητική υπόθεση θεωρείται αιτία κατάρριψης της ερευνητικής υπόθεσης (Kanari & Millar, 2004), ακόμα και αν αφορά βασικές αρχές της Φυσικής. Πιο συγκεκριμένα η επανάληψη αρκετών μετρήσεων δεν συσχετίζεται με την ελάττωση του σφάλματος μέτρησης (Arnold et al., 2014˙ Kanari & Millar, 2004).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ερευνητικός σχεδιασμός

Η παρούσα έρευνα στοχεύει στην αξιολόγηση δεξιοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας πειραματικών δεδομένων Φυσικής από προπτυχιακούς φοιτητές. Το δείγμα της έρευνας ορίστηκε με δειγματοληψία ευχέρειας (convenience sampling). Αποτελείται από 30 προπτυχιακούς φοιτητές του του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου που συμμετείχαν σε εργαστήριο μαθήματος Γενικής Φυσικής. Οι παραδοτέες εργαστηριακές αναφορές αποτέλεσαν το υλικό της έρευνας. Οι φοιτητές είχαν ήδη ασκηθεί σε προηγούμενα εργαστήρια στη χρήση σφαλμάτων και σημαντικών ψηφίων, στη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και στην κατασκευή γραφικών παραστάσεων. Τα δεδομένα αναλύθηκαν από δύο ανεξάρτητους ερευνητές με ποσοτική ανάλυση περιεχομένου (Bryman, 2012) έχοντας ως μονάδα ανάλυσης την κάθε αναφορά. Το ποσοστό συμφωνίας των ερευνητών ήταν 91% και ο δείκτης Kappa 0,81 υποδηλώνοντας πολύ μεγάλο βαθμό συμφωνίας. Σε περιπτώσεις διαφωνίας οι ερευνητές επανέλεγξαν τα αμφισβητούμενα σημεία και κατέληξαν σε κοινώς αποδεκτό αποτέλεσμα.

Πειραματική διάταξη

Η εργαστηριακή άσκηση στην οποία ασκήθηκαν οι φοιτητές αποτελεί μια απλοποιημένη εκδοχή εργαστηριακής άσκησης των Αναστασάκη κ. ά. (1999) και έγκειται στην πειραματική επαλήθευση -

ποιοτική και ποσοτική- του 2ου Νόμου του Νεύτωνα. Ένα βαγονέτο αφήνεται να κινηθεί επί οριζόντιας αεροτροχιάς για ελάττωση των τριβών και λόγω της κατακόρυφης πτώσης βαριδίου ρυθμιζόμενης μάζας, το βαγονέτο, που συνδέεται μέσω νήματος και τροχαλίας με το βαρίδιο, τίθεται σε ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται υπό την επίδραση διαφόρων δοσμένων τιμών δυνάμεων, όπως αυτές προκύπτουν από το βάρος του βαριδιού για τη συγκεκριμένη επανάληψη, ενώ η ισοδύναμη ενεργός μάζα του συστήματος βαριδιού, βαγονέτου και τροχαλίας που αντιστοιχεί στη σύνθετη κίνηση (στροφική και ευθύγραμμη) του συστήματος αυτού και που υπολογίζεται βάσει δεδομένου μαθηματικού τύπου από τις επιμέρους μάζες διατηρείται σταθερή μεταξύ μετρήσεων με την προσθήκη σταθμών στο βαγονέτο ίσων σε μάζα με αυτή που αφαιρέθηκαν από το βαρίδι. Μέσω της καταγραφής χρονικών διαστημάτων με τη βοήθεια φωτοπυλών και γνωρίζοντας το μήκος του βαγονέτου, υπολογίζεται η τιμή της επιτάχυνσης ανά κάθε περίπτωση κίνησης υπό την επίδραση διαφορετικής τιμής μάζας βαριδιού. Κατασκευάζεται γραφική παράσταση επιτάχυνσης – δύναμης (βάρους) και η κλίση της ευθείας είναι το αντίστροφο της τιμής της ενεργού μάζας του συστήματος, η οποία, εν τέλει, συγκρίνεται με την πραγματική τιμή όπως αυτή υπολογίστηκε από τις επιμέρους μάζες βαριδιού, τροχαλίας, βαγονέτου.

Πρόκειται για το απλούστερο είδος διερεύνησης, την επιβεβαίωση (confirmation), κατά την οποία παρέχονται στους ασκούμενους το ερευνητικό ερώτημα και αναλυτικές οδηγίες για τη διεξαγωγή του πειράματος και επεξεργασία δεδομένων, και το αποτέλεσμα είναι γνωστό εκ των προτέρων (Bell et al., 2005). Η μέθοδος θεωρείται κατάλληλη για αρχάριους συμμετέχοντες, την ταχεία μάθηση επιστημονικών εννοιών και την άσκηση βασικών δεξιοτήτων (Zion & Mendelovici, 2012), και κατά συνέπεια εύλογη επιλογή διδακτικού σχεδιασμού εισαγωγικού εργαστηρίου Γενικής Φυσικής (Gericke et al., 2023). Η συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση επιλέχθηκε επειδή παρείχε αυστηρή καθοδήγηση στους φοιτητές απαλλάσσοντάς τους από τη λήψη αποφάσεων για ζητήματα μεθοδολογικού σχεδιασμού ή επιλογής τεχνικών ανάλυσης δεδομένων. Κατά αυτόν τον τρόπο στην εργαστηριακή αναφορά αντικατοπτρίζονται μόνο οι δεξιότητες επεξεργασίας και ερμηνείας πειραματικών δεδομένων, χωρίς αυτές να επηρεάζονται από ζητήματα λήψης μεθοδολογικών αποφάσεων που θα μείωναν τους μετρούμενους δείκτες (Arnold et al., 2014˙ Hofstein & Lunetta, 2004˙ Zion & Mendelovici, 2012) χωρίς αυτό να υποδεικνύεται από τα ερευνητικά ερωτήματα και μειώνοντας, επομένως, την εγκυρότητα της έρευνας.

Ερευνητικό εργαλείο

Για την ανάλυση των εργαστηριακών αναφορών χρησιμοποιήθηκε οδηγός κωδικοποίησης προσαρμοσμένος από τους Pols et al. (2021), ο οποίος εξετάζει θεμελιώδεις διερευνητικές δεξιότητες. Ωστόσο, το εργαλείο της παρούσας έρευνας αφορούσε στην αξιολόγηση διερευνητικών δεξιοτήτων μαθητών στο τέλος της υποχρεωτικής εκπαίδευσης (Γυμνασίου) και, κατά συνέπεια, επικεντρώνονταν σε ζητήματα ποιοτικού χειρισμού δεδομένων. Το ερευνητικό εργαλείο προσαρμόστηκε στην ηλικία και την εκπαίδευση των υποκειμένων της παρούσας έρευνας (Πίνακας 1), καθώς είναι φοιτητές εξειδίκευσης πεδίων STEM και ασκούνται σε αρκετά προηγμένους ποσοτικούς μαθηματικούς χειρισμούς. Πιο συγκεκριμένα προστέθηκαν εξ ολοκλήρου οι ενότητες Δ1 και Δ6, που αφορούν σε ποσοτικούς χειρισμούς και την έννοια του σφάλματος, καθώς και επιμέρους δεξιότητες ποσοτικούς χειρισμού δεδομένων στις ενότητες Δ3 (δ), Δ4 (ε, στ) και Δ5 (α, δ, ε).

Πίνακας 1: Οδηγός κωδικοποίησης δεξιοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων

Κύριες δεξιότητες	**Επιμέρους δεξιότητες**	**Κύριες δεξιότητες**	**Επιμέρους δεξιότητες**
Δ1: Αριθμητική επεξεργασία δεδομένων	α: Οργάνωση δεδομένων σε πίνακες	Δ4: Ποιοτική και ποσοτική περιγραφή δεδομένων και γραφικής παράστασης	α: Αναφορά φυσικών μεγεθών υπό μελέτη
	β: Ορθή εφαρμογή μαθηματικών τύπων		β: Αναφορά στη γραμμικότητα της σχέσης
	γ: Αναφορά μονάδων μέτρησης		γ: Σχολιασμός αν η ευθεία διέρχεται από την αρχή των αξόνων (αναλογία μεγεθών)
	δ: Αναφορά σωστής τάξης μεγέθους σφάλματος κατά τη λήψη δεδομένων		δ: Υπολογισμός κλίσης ευθείας
	ε: Τήρηση λογικού αριθμού δεκαδικών ψηφίων στα αποτελέσματα		ε: Αναγραφή μονάδων μέτρησης κλίσης
			στ: Ρητή αναφορά εξίσωσης ευθείας
Δ2: Γραφική απεικόνιση δεδομένων	α: Ορθός ορισμός ανεξάρτητης και εξαρτημένης μεταβλητής στους άξονες	Δ5: Σύγκριση δεδομένων με προβλεπόμενες τιμές και εξαγωγή συμπερασμάτων	α: Απάντηση στο ερευνητικό ερώτημα με αναφορά στο εννοιολογικό πλαίσιο
	β: Αναγραφή φυσικών μεγεθών σε άξονες		β: Εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει δεδομένων
	γ: Απεικόνιση σημείων		γ: Αναφορά στη σύγκλιση ή την απόκλιση των πειραματικών και προβλεπόμενων τιμών
	δ: Αναγραφή μονάδων μέτρησης σε άξονες		δ: Αιτιολόγηση μέσω απόκλισης της κλίσης
	ε: Επιλογή εύλογης κλίμακας στους άξονες		ε: Αιτιολόγηση μέσω εύρους σφάλματος κλίσης
Δ3: Χάραξη ευθείας σε γραφική παράσταση	α: Επιλογή ευθείας ή καμπύλης γραμμής	Δ6: Αναγνώριση και ερμηνεία των σφαλμάτων κατά τη λήψη δεδομένων	α: Αναφορά ύπαρξης σφαλμάτων
	β: Χάραξη ευθείας μεταξύ των σημείων		β: Διάκριση συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων
	γ: Χάραξη ευθείας κατά το δυνατόν εγγύτερα από τα σημεία		γ: Αναφορά πιθανών πηγών συστηματικών σφαλμάτων
	δ: Υπολογισμός εξίσωσης ευθείας βάσει ελαχίστων τετραγώνων		δ: Αναφορά πιθανών πηγών τυχαίων σφαλμάτων
			ε: Σχολιασμός της απόστασης των σημείων από την ευθεία ή πιθανή απόρριψη μετρήσεων

Ο βαθμός επίτευξης κάθε κύριας δεξιότητας διαχωρίστηκε σε υψηλό, μέτριο, ή χαμηλό, όπως και στην έρευνα των Pols et al (2021). Κατά αυτόν τον τρόπο αποτιμάται ο συνολικός βαθμός επίτευξης κάθε κύριας δεξιότητας πέραν των επιμέρους παραμέτρων. Κατά βάση ο υψηλός βαθμός επίτευξης αντικατοπτρίζει τον επαρκή ποσοτικό χειρισμό δεδομένων, ο μέτριος τον επαρκή ποιοτικό χειρισμό, και ο χαμηλός τον ανεπαρκή χειρισμό, ως προς την μελετώμενη κύρια δεξιότητα κάθε φορά. Τα κριτήρια για χαρακτηρισμό φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Οδηγός κωδικοποίησης βαθμού επίτευξης δεξιοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων

Βαθμός επίτευξης Δεξιότητας	**Υψηλός**	**Μέτριος**	**Χαμηλός**
Δ1	Ικανοποιούνται όλα τα Δ1(α-ε)	Ικανοποιούνται τα Δ1(α-γ)	Λοιπές περιπτώσεις
Δ2	Ικανοποιούνται όλα τα Δ2(α-ε)	Ικανοποιούνται 4 από τα Δ2(α-ε)	Λοιπές περιπτώσεις
Δ3	Ικανοποιούνται όλα τα Δ3(α-δ)	Ικανοποιούνται τα Δ3(α-γ)	Λοιπές περιπτώσεις
Δ4	Ικανοποιούνται όλα τα Δ4(α-στ)	Ικανοποιούνται τα Δ4(α,β,δ)	Λοιπές περιπτώσεις
Δ5	Ικανοποιούνται όλα τα Δ5(α-γ) και ένα από τα Δ5(δ) ή Δ5(ε)	Ικανοποιούνται τα Δ5(α-γ)	Λοιπές περιπτώσεις
Δ6	Ικανοποιούνται τα Δ6(α,β,ε) και στα Δ6(γ,δ) αναφέρονται 2 σωστά/έως 0 λάθος	Ικανοποιούνται τα Δ6(α,β) και στο Δ6(γ) αναφέρονται 2 σωστά/έως 1 λάθος	Λοιπές περιπτώσεις

Ερευνητικά ερωτήματα

Το ερευνητικό ερώτημα της παρούσας έρευνας είναι:

Ε: Ποιες δεξιότητες επεξεργασίας και ερμηνείας πειραματικών δεδομένων εμφανίζουν οι φοιτητές σε περιβάλλον εκπαιδευτικού πειράματος Φυσικής;

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

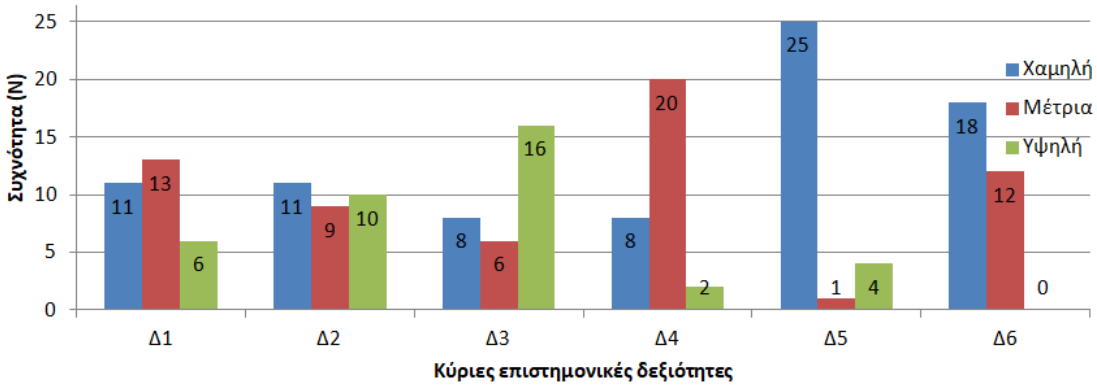
Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι απόλυτες συχνότητες των φοιτητών του δείγματος (N=30) που ικανοποιούν πλήρως τις επιμέρους δεξιότητες ανάλυσης και ερμηνείας πειραματικών δεδομένων, μετά από συμφωνία των αξιολογητών.

Πίνακας 3: Συχνότητες πλήρους επίτευξης επιμέρους δεξιοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων. Με αστερίσκο (*) σημειώνονται όσες επετεύχθησαν από λιγότερους των 2/3 των φοιτητών. Με διπλό αστερίσκο (**) σημειώνονται όσες επετεύχθησαν από λιγότερους του 1/3 των φοιτητών.

	N		N		N		N		N		N
Δ1α	29/30	**Δ2α**	26/30	**Δ3α**	21/30	**Δ4α**	25/30	**Δ5α**	6/30**	**Δ6α**	27/30
Δ1β	25/30	**Δ2β**	22/30	**Δ3β**	23/30	**Δ4β**	23/30	**Δ5β**	26/30	**Δ6β**	14/30*
Δ1γ	24/30	**Δ2γ**	26/30	**Δ3γ**	23/30	**Δ4γ**	8/30**	**Δ5γ**	28/30	**Δ6γ**	9/30**
Δ1δ	16/30*	**Δ2δ**	18/30*	**Δ3δ**	21/30	**Δ4δ**	29/30	**Δ5δ**	22/30	**Δ6δ**	1/30**
Δ1ε	18/30*	**Δ2ε**	24/30			**Δ4ε**	5/30**	**Δ5ε**	3/30**	**Δ6ε**	7/30**
						Δ4στ	14/30*				

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι απόλυτες συχνότητες των φοιτητών του δείγματος (N=30) ως προς τον βαθμό επίτευξης των κύριων δεξιοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας πειραματικών δεδομένων, μετά από συμφωνία των αξιολογητών.

Σχήμα 1: Συχνότητες βαθμού επίτευξης κύριων δεξιοτήτων ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συχνότερες δυσκολίες που εντοπίστηκαν ταυτίζονται με αρκετά από τα αντίστοιχα ευρήματα διεθνών ερευνών, παρόλο που οι περισσότερες από αφορούν σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πιο συγκεκριμένα δεν ανιχνεύτηκαν δυσκολίες στη διάκριση ανεξάρτητης και εξαρτημένης μεταβλητής ή ασυμβατότητα μεταξύ δεδομένων και συμπερασμάτων κατά την παρούσα έρευνα, παρά την αντίστοιχη αναφορά τους στη βιβλιογραφία. Επίσης, σε πολύ καλό επίπεδο μετρήθηκε η οργάνωση δεδομένων σε πίνακες, η εφαρμογή μαθηματικών τύπων και η αναγραφή μονάδων μέτρησης στα δεδομένα. Πιθανώς σε αυτές τις μετρήσεις να έχει συμβάλει και η σχετική ειδίκευση των ερωτώμενων στη Μηχανική. Η ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων βρίσκεται, κατά βάση, σε ένα μέσο επίπεδο με άλλες επιμέρους δεξιότητες να εφαρμόζονται επιτυχώς κατά μεγάλη πλειονότητα (π.χ. Δ5β, Δ5γ, Δ4α, Δ4β, Δ4δ, Δ6α) και άλλες να φαίνεται να δυσκολεύουν κατά πολύ αρκετούς φοιτητές (π.χ. Δ5α, Δ6β, Δ6γ, Δ6δ). Εν γένει, φαίνεται ότι περισσότερες δυσκολίες εμφανίστηκαν σε επιμέρους δεξιότητες που αφορούν στην πραγμάτευση σφαλμάτων και αβεβαιότητας στο πείραμα (Δ1δ, Δ1ε, Δ6β, Δ6γ, Δ6δ), στη σύνδεση του πειράματος με το ευρύτερο θεωρητικό εννοιολογικό πλαίσιο (Δ5α) και στην κατασκευή γραφικών παραστάσεων (Δ2β, Δ2δ, Δ3α, Δ3β, Δ3γ). Συνολικά μόνο το 1/3 των φοιτητών κατασκευάζει με πλήρη επάρκεια γραφικές παραστάσεις, και το 1/3 παραλείπει πάνω από ένα βασικά στοιχεία τους (π.χ. αναφορά μονάδων μέτρησης ή

φυσικών μεγεθών στους άξονες, χάραξη ευθείας μέσω σύνδεσης σημείων), διαφορετικά ο καθένας. Αυτές οι επιδόσεις είναι χαμηλότερες από τις αναμενόμενες δεδομένης της ειδίκευσης των φοιτητών. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση η παρούσα έρευνα δεν είναι επαρκής για τη συνολική αποτίμηση της εφαρμογής επιστημονικών δεξιοτήτων από αυτούς, καθώς ο βαθμός εφαρμογής των επιστημονικών δεξιοτήτων διαφέρει σημαντικά από πείραμα σε πείραμα (Gericke et al., 2023).

Εν γένει, οι φοιτητές του δείγματος φαίνεται πως εφαρμόζουν τα βήματα επεξεργασίας δεδομένων όπως περιγράφονται στον εργαστηριακό οδηγό αλλά χωρίς να εννοιολογούν επαρκώς το περιεχόμενό τους (Hofstein & Lunetta, 2004) και προκύπτουν αντιφάσεις, όπως για παράδειγμα ο υπολογισμός εξίσωσης ευθείας βάσει ελαχίστων τετραγώνων και, παράλληλα, η σύνδεση των σημείων με τεθλασμένη γραμμή. Στη συντριπτική πλειονότητα των φοιτητών δεν απαντάται το αρχικό ερευνητικό ερώτημα κατά τρόπο που να γεφυρώνονται τα συμπεράσματα με το εννοιολογικό πλαίσιο (2ος Νόμος του Νεύτωνα). Πιθανώς αυτές οι ενδείξεις –σε συμφωνία και με βιβλιογραφικά ευρήματα- να υποδεικνύουν την ανάγκη αφιέρωσης περισσότερου διδακτικού χρόνου στην εννοιολογική αποσαφήνιση και εξήγηση του πειράματος και των σταδίων τους, παρά σε πρακτικά ζητήματα της επιτέλεσής του (Pols & Diepenbroek, 2023), τα οποία συχνά κυριαρχούν στον διδακτικό χρόνο λόγω πρακτικών δυσκολιών που περιλαμβάνουν. Επίσης, ενδείκνυται η εκτέλεση εικονικών πειραμάτων με τη βοήθεια ψηφιακής τεχνολογίας προ των πραγματικών πειραμάτων, καθώς με αυτόν τον τρόπο ευνοείται η εννοιολογική κατανόηση και εξάσκηση των εκπαιδευόμενων στην πειραματική διαδικασία (Velentzas & Theodonis, 2021), χωρίς να εμπλέκονται σε αυτήν πρακτικές δυσκολίες εφαρμογής που επιφορτίζουν τους εκπαιδευόμενες με πρόσθετα εμπόδια στην κατανόηση (π.χ. τυχαία σφάλματα, ανάγκη για περισσότερες επαναλήψεις, κακή χρήση οργάνων). Ιδιαίτερη αναφορά χρειάζεται να γίνει στην αδυναμία νοηματοδότησης των σφαλμάτων, ενδεχομένως επειδή είναι μία έννοια που είναι εξ ολοκλήρου νέα στους φοιτητές καθώς απουσιάζει από τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Αντίστοιχες δυσκολίες στη διάκριση συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων και τη βαθύτερη κατανόησή τους ανιχνεύονται και σε άλλους Έλληνες φοιτητές ανεξαρτήτως πεδίου σπουδών (Georgaki & Stefanidou, 2023). Ενδεχομένως η πραγμάτευση εννοιών Θεωρίας Σφαλμάτων να γίνεται με υπερβολικά σύντομο και τεχνικό τρόπο για να γίνει κατανοητή σε βάθος. Η ρητή (explicit) πραγμάτευση εννοιών Φύσης της Επιστημονικής Διερεύνησης, όπως η αβεβαιότητα στην έρευνα και η έννοια του σφάλματος, κρίνεται χρήσιμη, ώστε να αποφεύγονται συγχύσεις και ασάφειες κατά τη χρήση τους.

Μεγάλη σημασία έχει και η εξοικείωση και εξάσκηση των μαθητών στο εκπαιδευτικό εργαστήριο σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης πριν την είσοδό τους στο Πανεπιστήμιο. Φαίνεται ότι η ευχέρεια άσκησης επιστημονικών δεξιοτήτων δεν εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ηλικία των ασκούμενων, αλλά αντιθέτως, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την προηγούμενη άσκησή τους σε παρόμοιες συνθήκες (Millar & Kanari, 2004). Λόγω της αυξημένης δυσκολίας στον σχεδιασμό και των εκτέλεση πειραμάτων στο σχολείο (Gericke et al., 2023), πολλοί εκπαιδευτικοί επιλέγουν να τα εκτελέσουν με τη μορφή πειράματος επίδειξης (Κουμαράς, 2017). Κατά αυτόν τον τρόπο, ωστόσο, οι μαθητές δεν εμπλέκονται ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία (Lyons, 2006) και δεν τους δίνεται η πραγματική ευκαιρία για την καλλιέργεια επιστημονικών δεξιότητων. Αντί αυτού προτείνεται η εφαρμογή της διερευνητικής εργαστηριακής διδασκαλίας στα μαθήματα Φυσικών Επιστημών, σε απλές μορφές, ήδη από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Κουμαράς, 2017˙ Χαλκιά, 2010) και διατήρηση της κατά τη δευτεροβάθμια. Στο σημερινό ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα η πειραματική διδασκαλία απουσιάζει ουσιαστικά από τη δευτεροβάθμια διδασκαλία, και περιορίζεται, συνήθως, σε λίγες εξαιρέσεις κατά τη διδακτική πράξη, πιθανώς λόγω των επαγγελματικών συνθηκών των εκπαιδευτικών (Νιέτος κ. ά., 2008). Ωστόσο, είναι απαραίτητη η αλλαγή του σχολικού πλαισίου διδασκαλίας ώστε να διευκολυνθεί η διεξαγωγή διερευνητικής διδασκαλίας από το

Δημοτικό έως και το Λύκειο ώστε οι μαθητές δύνανται να μεταβούν σε πιο αυτόνομες μορφές της με εκτενέστερη λήψη αποφάσεων (Zion & Mendelovici, 2012), και να κατακτήσουν δεξιότητες διερεύνησης και γνώσεις επιστημονικού περιεχομένου και Φύσης της Επιστήμης (Osborne, 2014). Ιδιαίτερα κρίσιμος είναι ο συναισθηματικός παράγοντας καθώς οι μαθητές είναι κατά βάση αδιάφοροι στην παραδοσιακή μη συμμετοχική διδασκαλία και αντί αυτής προτιμούν να εμπλακούν ενεργά σε μαθησιακές διαδικασίες που αισθάνονται ότι αφορούν τη ζωή και τα ενδιαφέροντά τους εκτός σχολείου (Lyons, 2006), αποφεύγοντας το μαθησιακό περιεχόμενο και τις πρακτικές ακαδημαϊκού τύπου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναστασάκης, Ε., Απέκης, Λ., Βλαστού, Ρ., Κατσούφης, Η., Νταουκάκη, Δ., Παπαδόπουλος, Κ., Πέογλος, Β., Πίσσης, Π., Πίτλιγγερ, Δ., Στεφανής, Κ., & Χριστοδουλίδης, Κ. (1999). *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής* (Τόμος Ι), Συμμετρία, Αθήνα.

Κουμαράς, Π. (2017). *Διδάσκοντας Φυσική αύριο … με στόχο την καλλιέργεια γνώσεων και ικανοτήτων για τη ζωή*. Gutenberg, Αθήνα.

Νιέτος, Η. Φ., Παπαβαγγέλη, Σ., Ζουρνατζή, Ε., & Κουστέλιος, Α. (2018). Επαγγελματική εξουθένωση εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. *Επιστημονικό Εκπαιδευτικό Περιοδικό "εκπ@ ιδευτικός κύκλος, 6*(1), 50-64.

Χαλκιά, Κ. (2010). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες. Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις* (Α΄ Τόμος). Πατάκη, Αθήνα.

Abdulwahed, M., & Nagy, Z. K. (2009). Applying Kolb's experiential learning cycle for laboratory education. *Journal of engineering education, 98*(3), 283-294.

Arnold, J. C., Kremer, K., & Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments - What kind of support do they need in inquiry tasks?. *International Journal of Science Education*, *36*(16), 2719-2749.

Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, *72*(7), 30-33.

Bryman, A. (2012). *Social Research Methods* (4th Edition). Oxford University Press.

Georgaki, M., & Stefanidou, C. (2023). Primary Student Teachers' Views on Scientific Measurement and Uncertainty: A Pilot Research. *Advances in Social Sciences Research Journal, 10(*12).

Gericke, N., Högström, P., & Wallin, J. (2023). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in science education, 59*(2), 245-285.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28-54.

Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, *41*(7), 748-769.

Kok, K., Priemer, B., Musold, W., & Masnick, A. (2019). Students' conclusions from measurement data: The more decimal places, the better?. *Physical Review Physics Education Research*, *15*(1).

Lyons, T. (2006). Different countries, same science classes: Students' experiences of school science in their own words. *International journal of science education, 28*(6), 591-613.

Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education, 25*(2), 177-196.

Pols, C. F. J., Dekkers, P. J. J. M., & De Vries, M. J. (2021). What do they know? Investigating students' ability to analyse experimental data in secondary physics education. *International Journal of Science Education*, *43*(2), 274-297.

Pols, F., & Diepenbroek, P. (2023). Collaborative data collection: shifting focus on meaning making during practical work. *Physics Education*, *58*(2).

Stroupe, D. (2014). Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn science-as-practice. *Science Education*, *98*(3), 487-516.

Velentzas, A., & Theodonis, I. (2021). Supporting laboratory work with virtual experiments: A case study during the COVID-19 quarantine. Fostering scientific citizenship in an uncertain world (Proceedings of ESERA 2021), 263-271.

Zion, M., & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: challenges and limits. *Science Education International*, *23*(4), 383-399.