

Αξιοποίηση Πολυτροπικών Προσεγγίσεων για τη Διδασκαλία των Νόμων του Νεύτωνα σε Μαθήτρια με Μαθησιακές Δυσκολίες - Δυσλεξία

Παρασκευή Αντωνακοπούλου¹, Χαρίλαος Τσιχουρίδης²,
Διονύσιος Βαβουγιός³

¹Υποψήφια Διδάκτορας, ²Αναπληρωτής Καθηγητής, ³Ομότιμος Καθηγητής
^{1,2}Τμήμα Επιστημών Εκπαίδευσης και Κοινωνικής Εργασίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

³Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

²*hatsihour@upatras.gr*

Περίληψη

Η διδακτική προσέγγιση των νόμων του Νεύτωνα, ως πυλώνων της Νευτώνειας Μηχανικής, παρουσιάζει ιδιαίτερες προκλήσεις όταν εστιάζει σε μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες λόγω της αφαιρετικής φύσης των εννοιών. Η παρούσα εργασία διερευνά την αποτελεσματικότητα πολυτροπικών διδακτικών προσεγγίσεων των Νόμων σε μαθήτρια με δυσλεξία στο διδακτικό πλαίσιο, ανίχνευσης και διαχείρισης των εναλλακτικών ιδεών. Χρησιμοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν κατάλληλα σχεδιασμένες διδακτικές παρεμβάσεις με ενσωματωμένα πολυτροπικά /πολυαισθητηριακά χαρακτηριστικά (οπτικά, ακουστικά, απτικά), βασισμένες σε πραγματικά και εικονικά πειράματα, μοντέλα, βίντεο και απτικές δραστηριότητες με απλά υλικά. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σημαντικό θετικό αποτύπωμα στην τροποποίηση των εναλλακτικών αντιλήψεων και στην κατανόηση των νέων εννοιών από την μαθήτρια, αυξάνοντας την ενεργό εμπλοκή της και μειώνοντας σημαντικά τις ιδιαίτερες δυσκολίες στην κατανόηση και την αποκωδικοποίηση/επεξεργασία κειμένων. Η μελέτη καταδεικνύει την αναγκαιότητα εφαρμογής πολυτροπικών/διαφοροποιημένων διδακτικών πρακτικών, καλύπτοντας ευρύτερα τις μαθησιακές ανάγκες και προσφέροντας ισότιμη πρόσβαση στη γνώση σε όλους τους μαθητές.

Λέξεις κλειδιά: διδακτική παρέμβαση, εννοιολογική αλλαγή, μαθησιακές δυσκολίες-δυσλεξία, νόμοι Νεύτωνα, πολυτροπικότητα

Utilizing Multimodal Approaches for Teaching Newton's Laws to a Student with Learning Difficulties - Dyslexia

Paraskevi Antonakopoulou¹, Charilaos Tsihouridis², Dennis Vavougiος³

¹PhD Candidate, ²Associate Professor, ³Emeritus Professor

^{1,2}Department of Education and Social Work, University of Patras

³Physics Department, University of Thessaly

²*hatsihour@upatras.gr*

Abstract

The teaching approach to Newton's Laws, as pillars of Newtonian Mechanics, presents particular challenges, especially when focused on students with learning difficulties due to the abstract nature of the concepts involved. This study investigates the effectiveness of multimodal teaching approaches to Newton's Laws in a dyslexic student within an educational framework designed to identify and manage alternative ideas. Specially designed teaching interventions incorporating multimodal/multi-sensory features (visual, auditory, tactile) were utilized and evaluated. These interventions were based on real and virtual experiments, models, videos, and hands-on activities using simple materials. The results revealed a significant positive impact on the modification of the student's alternative conceptions and her understanding of new concepts. This also considerably increased her active engagement and

significantly reduced her particular difficulties in comprehending and decoding/processing texts. The study demonstrates the necessity of implementing multimodal/differentiated teaching practices, broadly addressing learning needs and providing equitable access to knowledge for all students.

Keywords: conceptual change, instructional intervention, learning difficulties - dyslexia, multimodality, Newton's laws

Εισαγωγή

Οι μαθητές/τριες, λόγω βιωμάτων και εμπειριών τους από την καθημερινότητά τους, διαθέτουν ποικίλες εναλλακτικές αντιλήψεις για τις δυνάμεις, την κίνηση και την αλληλεπίδραση των σωμάτων. Ωστόσο, η κατανόηση της Νευτώνειας Μηχανικής αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση, καθώς απαιτεί την υπέρβαση αυτών των διαισθητικών, αλλά μη επιστημονικών ιδεών και την ανάπτυξη μιας πιο αφηρημένης και μαθηματικοποιημένης σκέψης (Mittrakas et al., 2023). Συχνά, οι μαθητές/τριες δυσκολεύονται στη διάκριση και τη σύνδεση εννοιών όπως η δύναμη, η ταχύτητα και η επιτάχυνση και οδηγούνται σε σύγχυση και παρανοήσεις (Jimoγιannis & Komis, 2003). Η ύπαρξη αυτών των εναλλακτικών αντιλήψεων αποτελεί κομβικό σημείο στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, καθώς συχνά είναι ανθεκτικές στην αλλαγή και επηρεάζουν την πρόσληψη της επιστημονικής γνώσης (Mittrakas et al., 2024; Tsihouridis et al., 2024; Vosniadou, 2019).

Στο πλαίσιο αυτό, πολλές έρευνες έχουν καταγράψει τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών/τριών για τους νόμους του Νεύτωνα, με στόχο την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής και την υιοθέτηση αποτελεσματικότερων διδακτικών πρακτικών. Η εννοιολογική αλλαγή, σύμφωνα με το πλαίσιο των Posner, Strike, Hewson, & Gertzog (1982), προϋποθέτει τη συνειδητοποίηση από την πλευρά των μαθητών/τριών της μη επάρκειας των υπάρχουσών αντιλήψεών τους για την ερμηνεία ενός φαινομένου, καθώς και την κατανόηση των νέων επιστημονικών εννοιών, την αντίληψη της αξιοπιστίας τους και την αναγνώρισή τους ως πιο αποτελεσματικών εργαλείων για την ερμηνεία των φαινομένων. Οι μελέτες αφορούν διάφορες ηλικίες και διερευνούν τις αντιλήψεις μαθητών/τριών Γυμνασίου και Λυκείου για τους τρεις νόμους του Νεύτωνα (Planinic et al., 2006; Yusof et al., 2013).

Ωστόσο, στην περίπτωση μαθητών/τριών με μαθησιακές δυσκολίες, όπως η δυσλεξία, η αντίστοιχη ερευνητική αναζήτηση είναι περιορισμένη και οι προκλήσεις πολλαπλασιάζονται (Παπαδοπούλου, 2020). Οι μαθητές/τριες με δυσλεξία αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στην επεξεργασία του γραπτού λόγου, την αποκωδικοποίηση επιστημονικής ορολογίας και την κατανόηση αφηρημένων εννοιών μέσα από συμβατικές, κειμενοκεντρικές διδακτικές μεθόδους. Συνεπώς, οι παραδοσιακές διδακτικές μέθοδοι συχνά δεν επαρκούν, καθιστώντας απαραίτητη την εφαρμογή διαφοροποιημένης διδασκαλίας και πολυτροπικών προσεγγίσεων (Tomlinson & Imbeau, 2010; Tsihouridis et al., 2025). Τέτοιες προσεγγίσεις αξιοποιούν πολλαπλά αισθητηριακά ερεθίσματα (οπτικό, ακουστικό, απτικό, κιναισθητικό) και διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης (διαδραστικές προσομοιώσεις, οπτικοί οργανωτές, πρακτικές δραστηριότητες), ώστε να καλύψουν τις ιδιαίτερες μαθησιακές ανάγκες και να αξιοποιήσουν τα δυνατά σημεία των μαθητών με δυσλεξία, όπως η οπτικο-χωρική συλλογιστική (Mortimore & Croxford, 2008).

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης που εξετάζει τις εναλλακτικές αντιλήψεις μιας μαθήτριας Β' Γυμνασίου με μαθησιακές δυσκολίες-δυσλεξία για τους νόμους του Νεύτωνα. Σχεδιάστηκε μια εξατομικευμένη διδακτική παρέμβαση, βασισμένη στις αρχές του Μοντέλου Εκπαιδευτικής Ανασυγκρότησης (Model of Educational Reconstruction - MER) (Duit et al., 2012), το οποίο συστηματικά συνδέει την επιστημονική γνώση, τις αντιλήψεις των μαθητών και τον διδακτικό σχεδιασμό. Η παρέμβαση, που έλαβε χώρα στο σπίτι της μαθήτριας, στόχευσε στην προετοιμασία και τη διευκόλυνση της ένταξής της στη γενική τάξη, στο πλαίσιο της συμπεριληπτικής εκπαίδευσης. Μέσω της παρέμβασης επιδιώχθηκε, επιπλέον, η ενίσχυση της αυτοαποτελεσματικότητας της μαθήτριας και η διαμόρφωση μιας

θετικότερης στάσης απέναντι στο μάθημα, σύμφωνα με τις αρχές της Κοινωνικογνωστικής Θεωρίας Μάθησης του Bandura (1997). Στόχος της εργασίας είναι να αξιολογήσει το βαθμό επίτευξης εννοιολογικής αλλαγής και την πρόοδο της μαθήτριας, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα για την αποτελεσματικότητα εξατομικευμένων, πολυτροπικών προσεγγίσεων σε μαθητές/τριες με δυσλεξία στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

Μεθοδολογία

Συμμετέχων/ουσα και Πλαίσιο της Μελέτης

Το δείγμα της έρευνας ήταν μια μαθήτρια της Β΄ Γυμνασίου με μαθησιακές δυσκολίες, συγκεκριμένα δυσλεξία. Η εικόνα της μαθήτριας σκιαγραφήθηκε λεπτομερώς από τη γνωμάτευση της διεπιστημονικής ομάδας του Κέντρου Διάγνωσης Αξιολόγησης Συμβουλευτικής και Υποστήριξης (ΚΕ.Δ.Α.Σ.Υ.), από τις παρατηρήσεις των εκπαιδευτικών του σχολείου της και από προσωπική καταγραφή. Η αρχική αξιολόγηση ανέδειξε ότι οι μαθησιακές της δυσκολίες επηρέαζαν, σε ορισμένες περιπτώσεις, την αυτοαποτελεσματικότητά της και τα κίνητρό της για μάθηση, εκδηλώνοντας συχνά άγχος.

Ειδικότερα, δυσκολευόταν στην αποκωδικοποίηση και κατανόηση πληροφοριών προερχόμενων από γραπτά κείμενα, γεγονός που την καθιστούσε ευάλωτη στις προκλήσεις της παραδοσιακής διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. Παράλληλα, διαχειριζόταν με μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση τα μαθήματα των θετικών επιστημών, επεξεργαζόταν αποτελεσματικότερα ακουστικές παρά οπτικές πληροφορίες, ενώ τα συνοδευόμενα από εικόνες ή σχήματα οπτικά ερεθίσματα βελτίωναν την επίδοσή της. Τα κείμενά της χαρακτηρίζονταν από λιτότητα, ενώ στα μαθηματικά παρουσίαζε καλύτερη επίδοση. Στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών συναντούσε δυσκολίες στην ορολογία και στην κατανόηση εννοιών και φαινομένων. Ωστόσο, η αξιοποίηση διαδραστικών και πειραματικών δραστηριοτήτων διευκόλυνε την κατανόησή τους, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πολυτροπικές προσεγγίσεις που αξιοποιούν πολλαπλά αισθητηριακά ερεθίσματα.

Η παρέμβαση υλοποιήθηκε κατ' οίκον, στο πλαίσιο εξατομικευμένων μαθημάτων, και όχι εντός του σχολικού περιβάλλοντος. Αυτό το πλαίσιο επέτρεψε την πλήρη προσαρμογή στον ρυθμό και τις ανάγκες της μαθήτριας, παρέχοντας ένα υποστηρικτικό περιβάλλον απαλλαγμένο από το άγχος της σχολικής τάξης.

Σχεδιασμός και Υλοποίηση της Διδακτικής Παρέμβασης

Για τους σκοπούς της έρευνας, εφαρμόστηκε εξατομικευμένη διδακτική παρέμβαση, δομημένη σε τρεις φάσεις, συνολικής διάρκειας δέκα ωρών. Η προσέγγιση βασίστηκε στις αρχές του Μοντέλου Εκπαιδευτικής Ανασυγκρότησης (MER) (Duit et al., 2012), το οποίο καθοδήγησε τον σχεδιασμό της παρέμβασης με βάση την αλληλεπίδραση επιστημονικής γνώσης, προϋπαρχουσών αντιλήψεων της μαθήτριας και διδακτικών στρατηγικών.

Αρχική Αξιολόγηση και Διερεύνηση Εναλλακτικών Αντιλήψεων

Κατά την αρχική φάση, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των εναλλακτικών αντιλήψεων της μαθήτριας, μέσω της χορήγησης ενός αρχικού ερωτηματολογίου. Το ερωτηματολόγιο αποτελούνταν από 26 ερωτήσεις, καταναμημένες ισάριθμα στους τρεις νόμους του Νεύτωνα, και βασιζόνταν σε ερωτήσεις που είχαν αξιοποιηθεί σε προγενέστερες έρευνες στην ίδια θεματική ενότητα (Αυγουστάκη, 2011· Ηλιάκης, 2016· Πάντου, 2017). Οι ερωτήσεις ήταν κλειστού τύπου (πολλαπλής επιλογής, σωστού-λάθους, συμπλήρωσης κενών) και ανοικτού (σύντομης ανάπτυξης) και αποσκοπούσαν στη διερεύνηση των διαφορετικών πτυχών της κατανόησης και της στάσης της μαθήτριας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις μαθησιακές δυσκολίες της μαθήτριας, η διαδικασία χορήγησης του ερωτηματολογίου προσαρμόστηκε: οι ερωτήσεις διαβάζονταν προφορικά στη μαθήτρια,

παρέχονταν διευκρινίσεις όπου χρειαζόταν, και οι απαντήσεις της καταγράφονταν τόσο από την ίδια όσο κι από την ερευνήτρια. Οι ερωτήσεις σύντομης ανάπτυξης, καθώς και ορισμένες ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, συνοδεύονταν από εικόνες ή σχήματα προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδρασή τους στην κατανόηση και την επιλογή της σωστής απάντησης.

Για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της εγκυρότητας του ερωτηματολογίου, οι ερωτήσεις του αξιολογήθηκαν από συναδέλφους φυσικούς (experts' validity), ενώ παράλληλα χορηγήθηκαν σε αυτή τη συγκεκριμένη μαθήτρια (pilot testing) για τον εντοπισμό μη κατανοητών ερωτήσεων και όρων, καθώς και για τον έλεγχο της ανταπόκρισής της στη διαδικασία. Έπειτα από την υλοποίηση κατάλληλων τροποποιήσεων, το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε ειδικά για το συγκεκριμένο άτομο και έλαβε την τελική του μορφή, διασφαλίζοντας την εγκυρότητα της μέτρησης των αντιλήψεών της.

Διδακτική Παρέμβαση (Διάρκεια 6 ώρες)

Η εξατομικευμένη διδακτική παρέμβαση σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις προερχόμενες από την αρχική αξιολόγηση εναλλακτικές της αντιλήψεις, καθώς και τις ιδιαίτερες δυσκολίες, αλλά και δεξιότητες της. Η παρέμβαση βασίστηκε σε πολυτροπικές προσεγγίσεις και τις αρχές της διαφοροποιημένης διδασκαλίας (Tomlinson & Imbeau, 2010· Tsihouridis et al., 2025), προσφέροντας πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης και εμπλοκής. Ειδικότερα, η μαθήτρια, έπειτα από κατάλληλη καθοδήγηση, συμπλήρωσε φύλλο εργασίας στο οποίο αποτυπώθηκαν οι απόψεις, οι υποθέσεις, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά της, ενθαρρύνοντας την ενεργητική εμπλοκή και την κριτική σκέψη.

Παράλληλα, αξιοποιήθηκαν εκτενώς οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση (ΤΠΕ-Ε). Χρησιμοποιήθηκαν διαδραστικές προσομοιώσεις από γνωστές εκπαιδευτικές ιστοσελίδες (PhET Colorado, seilias, Photodentro), δραστηριότητες με απλά καθημερινά υλικά, καθώς και εκπαιδευτικά βίντεο και εικόνες. Η χρήση των ΤΠΕ-Ε διευκόλυνε την κατανόηση των εννοιών μέσω της οπτικοποίησης των πληροφοριών και της αναπαράστασης φαινομένων που δεν είναι εύκολο να παρατηρηθούν στην καθημερινότητα. Ιδίως, οι προσομοιώσεις, παρέχοντας τη δυνατότητα προσωρινής παύσης και επανέναρξης και διασύνδεσης πολλών αναπαραστάσεων, ενίσχυσαν την αντιληπτική της ικανότητα, καλύπτοντας τις ανάγκες της για διαφορετικούς τρόπους πρόσληψης της γνώσης. Η επιτυχία στην εμπλοκή με αυτές τις δραστηριότητες συνέβαλε, επιπλέον, στην ενίσχυση της αυτοαποτελεσματικότητας της μαθήτριας, σύμφωνα με τις αρχές της Κοινωνικογνωστικής Θεωρίας του Bandura (1997).

Τελική Αξιολόγηση

Μετά το πέρας της διδακτικής παρέμβασης, υλοποιήθηκε η τελική αξιολόγηση. Για τον σκοπό αυτό, χορηγήθηκε εκ νέου το αρχικό ερωτηματολόγιο, χρησιμοποιώντας την ίδια προσαρμοσμένη διαδικασία (προφορική ανάγνωση, καταγραφή απαντήσεων). Η σύγκριση των απαντήσεων του αρχικού και του τελικού ερωτηματολογίου επέτρεψε τη διαπίστωση του βαθμού επίτευξης εννοιολογικής αλλαγής και της προόδου της μαθήτριας ως προς την υιοθέτηση των επιστημονικά αποδεκτών αντιλήψεων για τους νόμους του Νεύτωνα.

Αποτελέσματα

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια ποιοτική μελέτη περίπτωσης που δεν αποσκοπούσε στη γενίκευση συμπερασμάτων. Αντιθέτως, στόχευσε στη διερεύνηση των εναλλακτικών αντιλήψεων μιας μαθήτριας με μαθησιακές δυσκολίες-δυσλεξία για τους νόμους του Νεύτωνα και τη συσχέτισή τους με τις δυνάμεις, την κίνηση και την αλληλεπίδραση των σωμάτων. Παράλληλα, διερευνήθηκε ο βαθμός στον οποίο επιτεύχθηκε εννοιολογική αλλαγή έπειτα από την εφαρμογή μιας εξατομικευμένης, πολυτροπικής διδακτικής παρέμβασης.

Εναλλακτικές Αντιλήψεις πριν την Παρέμβαση (Αρχική Αξιολόγηση)

Όπως προέκυψε από την αρχική αξιολόγηση, οι εναλλακτικές αντιλήψεις της μαθήτριας για τους τρεις νόμους του Νεύτωνα κατά κύριο λόγο ταυτίζονταν με τις ιδέες μαθητών τυπικής ανάπτυξης και με τα ευρήματα προγενέστερων ερευνών, επιβεβαιώνοντας τη διαχρονική φύση ορισμένων παρανοήσεων στη Φυσική (Vosniadou, 2019).

Όσον αφορά τον πρώτο νόμο, η μαθήτρια συσχέτιζε την κίνηση ενός σώματος με τη συνεχή δράση κάποιας δύναμης. Δυσκολευόταν να εντοπίσει τις δυνάμεις που ασκούνταν σε ακίνητα σώματα, υποδηλώνοντας την προϋπάρχουσα αντίληψη ότι η απουσία κίνησης σημαίνει απουσία δυνάμεων. Επίσης, θεωρούσε αναγκαία την ύπαρξη δύναμης στην κατεύθυνση της κίνησης για να διατηρείται η ευθύγραμμη ομαλή κίνηση ενός σώματος. Αυτές οι αντιλήψεις είναι ευρέως καταγεγραμμένες στη βιβλιογραφία και συμφωνούσαν με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών (Yusof et al., 2013). Στο δεύτερο νόμο, οι αντιλήψεις της ήταν προς την κατεύθυνση της σχολικής γνώσης ως προς την επίδραση της μεταβολής της δύναμης ή της μάζας στη μεταβολή της ταχύτητας ενός σώματος ανά δευτερόλεπτο. Ωστόσο, διατηρούσε την εσφαλμένη αντίληψη ότι η άσκηση σταθερής δύναμης οδηγούσε σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα, υποδηλώνοντας μια σύγχυση μεταξύ δύναμης και ταχύτητας. Ως προς τον τρίτο νόμο, η μαθήτρια θεωρούσε άνισες τις δυνάμεις δράσης-αντίδρασης και δυσκολευόταν να εντοπίσει τα ζεύγη τους, μια κοινή παρανόηση που υποδηλώνει δυσκολία στην εφαρμογή της έννοιας της αλληλεπίδρασης μεταξύ σωμάτων.

Επίδραση της Διδακτικής Παρέμβασης και Επίτευξη Εννοιολογικής Αλλαγής (Τελική Αξιολόγηση)

Μετά το πέρας της εξατομικευμένης διδακτικής παρέμβασης, η αξιολόγηση της εικόνας της μαθήτριας ανέδειξε σημαντική τροποποίηση πολλών λανθασμένων εναλλακτικών της αντιλήψεων, όπως αποτυπώνεται και στον Πίνακα 1. Αυτό υποδηλώνει ότι η προσαρμοσμένη διδασκαλία, που έλαβε υπόψη το μαθησιακό της προφίλ και τα ιδιαίτερα δυνατά της σημεία, διευκόλυνε την εννοιολογική αλλαγή (Posner et al., 1982) και ενίσχυσε την κατανόησή της. Η χρήση των ΤΠΕ-Ε και των πρακτικών δραστηριοτήτων φάνηκε να λειτουργεί ως καταλύτης για την κατανόηση αφηρημένων εννοιών, όπως υποστηρίζεται από τις αρχές της διαφοροποιημένης διδασκαλίας και του Universal Design for Learning (Rose & Meyer, 2007).

Συγκεκριμένα, ως προς τον πρώτο νόμο αντιλήφθηκε τη συσχέτιση της ακινησίας ενός σώματος ή της κίνησής του με σταθερή ταχύτητα με την άσκηση μηδενικής συνισταμένης δύναμης. Αυτή ήταν μια κρίσιμη εννοιολογική αλλαγή, αποδεικνύοντας ότι ξεπέρασε την αρχική της αντίληψη ότι η κίνηση απαιτεί συνεχή δύναμη. Ωστόσο, διατήρησε την άποψη ότι η διακοπή άσκησης δυνάμεων επιφέρει ακινησία, κάτι που δείχνει ότι η εννοιολογική αλλαγή μπορεί να είναι μερική και να συνυπάρχουν παλιές και νέες ιδέες (Vosniadou, 2019). Στο δεύτερο νόμο κατανόησε σε μεγάλο βαθμό τη σχέση μάζας, δύναμης και επιτάχυνσης, γεγονός που υποδεικνύει την ανάπτυξη πιο επιστημονικών μοντέλων σκέψης. Παρόλα αυτά, δεν τροποποίησε πλήρως την εσφαλμένη αντίληψη ότι η άσκηση σταθερής δύναμης οδηγεί σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα, υπογραμμίζοντας την ανθεκτικότητα ορισμένων προϋπαρχουσών αντιλήψεων ακόμα και μετά από στοχευμένη παρέμβαση. Τέλος, στον τρίτο νόμο αντιλήφθηκε τα ζεύγη δράσης-αντίδρασης ως αντίθετες δυνάμεις που ασκούνται σε διαφορετικά σώματα, παρουσιάζοντας σημαντική πρόοδο. Ωστόσο, διατήρησε την άποψη ότι η συνισταμένη τους είναι μηδενική, δείχνοντας μια παρανόηση στην εφαρμογή της συνισταμένης δύναμης σε συστήματα σωμάτων.

Συνολικά, η παρέμβαση φάνηκε να έχει θετικό αντίκτυπο στην εννοιολογική κατανόηση της μαθήτριας, ιδιαίτερα στην αλλαγή της αρχικής της στάσης απέναντι στο μάθημα και στην ενίσχυση της αυτοαποτελεσματικότητάς της, μέσω της ενεργούς συμμετοχής και των εμπειριών επιτυχίας. Τα αποτελέσματα αυτά αναδεικνύουν την κρίσιμη σημασία των εξατομικευμένων, πολυτροπικών και διαφοροποιημένων προσεγγίσεων για μαθητές/τριες με μαθησιακές δυσκολίες στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

Πίνακας 1: Εναλλακτικές αντιλήψεις της μαθήτριας για τους νόμους του Νεύτωνα πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση - Συγκριτική αποτίμηση

Αρχική αξιολόγηση	Τελική αξιολόγηση
1^{ος} νόμος Νεύτωνα	
<ul style="list-style-type: none"> • Συσχέτιση (σε ορισμένες περιπτώσεις) κίνησης σώματος με σταθερή ταχύτητα με τη δράση μηδενικής συνισταμένης δύναμης • Σύγχυση φοράς ταχύτητας με φορά συνισταμένης δύναμης στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση • Μη απόδοση ισορροπίας σώματος άλλοτε σε ακινησία κι άλλοτε σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα • Απόδοση αδράνειας σωμάτων στην τάση διατήρησης της κίνησής τους • Πεποίθηση περί διακοπής κίνησης όλων των σωμάτων με την παύση άσκησης δυνάμεων σε αυτά 	<ul style="list-style-type: none"> • Σύνδεση κίνησης σώματος με σταθερή ταχύτητα με τη δράση μηδενικής συνισταμένης δύναμης • Απόδοση κίνησης σώματος με σταθερή ταχύτητα, ανεξαρτήτου φοράς κίνησης, στην επίδραση μηδενικής συνισταμένης δύναμης • Απόδοση ισορροπίας σώματος είτε σε ακινησία είτε σε κίνηση με σταθερή ταχύτητα • Απόδοση αδράνειας σωμάτων στην τάση αντίστασης μεταβολής της κινητικής τους κατάστασης • Πεποίθηση περί ακινησίας όλων των σωμάτων με τη διακοπή άσκησης δυνάμεων σε αυτά
2^{ος} νόμος Νεύτωνα	
<ul style="list-style-type: none"> • Γνώση τρόπου μεταβολής της ταχύτητας ενός σώματος ανά δευτερόλεπτο με τη μεταβολή της δύναμης ή τη μεταβολή της μάζας • Υιοθέτηση της άποψης περί μεταβολής της δύναμης και της ταχύτητας με ανάλογο τρόπο • Συσχέτιση άσκησης σταθερής δύναμης σε ένα σώμα με την κίνησή του με σταθερή ταχύτητα 	<ul style="list-style-type: none"> • Γνώση τρόπου επίδρασης μεταβολής της ασκούμενης δύναμης (υπό ορισμένη μάζα) ή της μάζας (υπό σταθερή δύναμη) στη μεταβολή της ταχύτητας ενός σώματος ανά δευτερόλεπτο • Αντίληψη τρόπου επίδρασης μεταβολής της δύναμης στη μεταβολή της ταχύτητας σώματος ανά δευτερόλεπτο • Συσχέτιση κίνησης σώματος με σταθερή ταχύτητα με την άσκηση σταθερής συνισταμένης δύναμης σε αυτό
3^{ος} νόμος Νεύτωνα	
<ul style="list-style-type: none"> • Αντιμετώπιση δράσης και αντίδρασης ως δύο άνισων δυνάμεων • Υιοθέτηση της άποψης περί άσκησης μεγαλύτερης δύναμης από σώματα μεγαλύτερης μάζας κατά την αλληλεπίδραση σωμάτων • Δυσκολία εντοπισμού και τοποθέτησης ζευγών δράσης-αντίδρασης μεταξύ σωμάτων • Πεποίθηση περί μηδενικής συνισταμένης δύναμης για τις δυνάμεις δράσης - αντίδρασης 	<ul style="list-style-type: none"> • Αντιμετώπιση δράσης και αντίδρασης ως δύο αντίθετων δυνάμεων • Αντίληψη σχέσης δυνάμεων δράσης-αντίδρασης κατά την αλληλεπίδραση σωμάτων • Εντοπισμός και σωστή τοποθέτηση ζευγών δράσης-αντίδρασης μεταξύ σωμάτων • Πεποίθηση περί μηδενικής συνισταμένης δύναμης για τις δυνάμεις δράσης-αντίδρασης

Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης, αναδεικνύει ότι η εξατομικευμένη διδακτική παρέμβαση επέφερε σημαντική εννοιολογική αλλαγή στις γνώσεις της μαθήτριας. Οι περισσότερες από τις αρχικά λανθασμένες εναλλακτικές αντιλήψεις της τροποποιήθηκαν και ταυτίστηκαν με τις επιστημονικά αποδεκτές απόψεις. Η επιτυχία της παρέμβασης δεν αποδίδεται αποκλειστικά σε μεμονωμένες «καινοτόμες» τεχνικές. Αντιθέτως, αποτελεί, κατά την εκτίμησή μας, αποτέλεσμα της συνέργειας και του ολιστικού χαρακτήρα των διδακτικών εργαλείων και τεχνικών που αξιοποιήθηκαν και διαφοροποιήθηκαν από την παραδοσιακή διδασκαλία (Brigham et al., 2011). Η προσέγγιση σχεδιάστηκε με βάση τις αρχές του Μοντέλου Εκπαιδευτικής Ανασυγκρότησης, που επέτρεψε την προσαρμογή στο μαθησιακό της προφίλ και την συστηματική αντιμετώπιση των προϋπαρχουσών ιδεών της.

Ειδικότερα, η πολυτροπική προσέγγιση μέσω της αξιοποίησης των ΤΠΕ-Ε, και κυρίως των διαδραστικών προσομοιώσεων (PhET Colorado, Seilias, Photodentro), καθώς και των βίντεο,

εικόνων και δραστηριοτήτων με απλά καθημερινά υλικά, διευκόλυνε την κατανόηση. Αυτά τα εργαλεία βοήθησαν τη μαθήτριά να οπτικοποιήσει αφηρημένες έννοιες και φαινόμενα που, υπό άλλες συνθήκες, θα ήταν δύσκολο να παρατηρηθούν με σαφήνεια, αξιοποιώντας τα οπτικο-χωρικά δυνατά της σημεία. Μέσα από αυτές τις αναπαραστάσεις, μπόρεσε να αντιληφθεί τις αρχές των νόμων και να αποκτήσει μια πιο εμπειρική αίσθηση των εννοιών, ενισχύοντας την ενεργητική της μάθηση και την αυτοαποτελεσματικότητά της.

Αξιοσημείωτο είναι ότι, ακόμη και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα από την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, η απόδοσή της στις τελικές ενδοσχολικές εξετάσεις, όπου περιλαμβάνονταν θέματα που σχετιζόνταν με τους νόμους, ήταν ικανοποιητική. Συγκεκριμένα, στη γραπτή εξέταση, επέλεξε όλα τα σχετικά ερωτήματα και έδωσε απαντήσεις που υποδήλωναν ότι είχε κατανοήσει και ήταν σε θέση να εφαρμόζει τους νόμους, παρά το χρονικό διάστημα που είχε παρέλθει από τη διδασκαλία τους. Η επιτυχία της στις εξετάσεις επιβεβαιώθηκε και από την υψηλή βαθμολογία που έλαβε στο μάθημα της Φυσικής, υποδεικνύοντας ότι η εννοιολογική αλλαγή είχε διάρκεια και σταθερότητα.

Η εξατομικευμένη διδακτική παρέμβαση διέφερε από μια γενική τάξη, καθώς προσαρμοσε το ρυθμό, τα μέσα και τις στρατηγικές διδασκαλίας αποκλειστικά στις ανάγκες και το μαθησιακό προφίλ της συγκεκριμένης μαθήτριάς, με άμεση ανατροφοδότηση και συνεχή προσαρμογή. Ο πρωταρχικός στόχος ήταν ψυχο-παιδαγωγικός, πέραν του γνωστικού, με απώτερο στόχο την καλύτερη ένταξή της. Η παρέμβαση αποσκοπούσε στην άμεση ενίσχυσή της και στη διαμόρφωση θετικότερης στάσης προς το μάθημα, ενώ αξιοποιήθηκε ως συμπληρωματική υποστήριξη στην εκπαίδευσή της, και όχι ως πρόταση απομόνωσης ή αντικατάστασης της συμπεριληπτικής διδασκαλίας.

Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν ότι η αξιοποίηση φύλλων εργασίας, διαδραστικών προσομοιώσεων, οπτικών αναπαραστάσεων και πρακτικών δραστηριοτήτων με απλά υλικά διευκολύνει τους μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες να κατανοήσουν σε βάθος σύνθετες επιστημονικές έννοιες. Συνεπώς, η εφαρμογή της πολυτροπικής και διαφοροποιημένης προσέγγισης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών καθίσταται αναγκαία, καθώς, προσαρμοζόμενη στις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε μαθητή/τριας, ενισχύει την κατανόηση μέσω της οπτικοποίησης, της πειραματικής εφαρμογής και της σύνδεσης της επιστημονικής θεωρίας με την καθημερινή ζωή, προάγοντας την ισότιμη πρόσβαση στη γνώση και τη συμπεριληπτική εκπαίδευση (Rose & Meyer, 2007).

Περιορισμοί και Μελλοντικές Προεκτάσεις

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η παρούσα εργασία αποτελεί μελέτη περίπτωσης και, ως εκ τούτου, τα συμπεράσματά της δεν μπορούν να γενικευτούν σε ευρύτερους πληθυσμούς μαθητών. Η επιτυχία που παρατηρήθηκε στην εννοιολογική αλλαγή και τη στάση της μαθήτριάς αποτελεί αποτέλεσμα της συνέργειας όλων των παραγόντων που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης, εξατομικευμένης παρέμβασης. Για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων και την περαιτέρω διερεύνηση της αποτελεσματικότητας αυτών των προσεγγίσεων, θα μπορούσαν μελλοντικά να διεξαχθούν έρευνες σε μεγαλύτερο δείγμα μαθητών με μαθησιακές δυσκολίες, σε σύγκριση με δείγμα μαθητών τυπικής ανάπτυξης, με στόχο τη διερεύνηση των αντίστοιχων εναλλακτικών τους αντιλήψεων και του βαθμού επίτευξης εννοιολογικής αλλαγής, καθώς και με τη χρήση ομάδων ελέγχου για την απομόνωση της επίδρασης συγκεκριμένων διδακτικών εργαλείων.

Βιβλιογραφία

- Αυγουστάκη, Μ. (2011). *Ιδέες των μαθητών για τον 3ο Νόμο του Νεύτωνα και εννοιολογική αλλαγή μέσω εποικοδομητικών παρεμβάσεων* (Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο).
- Ηλιάκης, Φ. (2016). *Διερεύνηση του βαθμού ποιοτικής κατανόησης που έχουν αναπτύξει μαθητές της Α' Λυκείου στους Νόμους του Νεύτωνα* (Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο).

- Πάντου, Δ. (2017). *Εναλλακτικές ιδέες μαθητών Γυμνασίου και Λυκείου για τον 3ο Νόμο του Νεύτωνα* (Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο).
- Παπαδοπούλου, Γ. Α. (2020). Η εφαρμογή της διαφοροποιημένης διδασκαλίας σε μαθητές με δυσλεξία στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. *Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου Επιστημών Εκπαίδευσης*, 9, 579–598. <https://doi.org/10.12681/educsc.3157>
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman and Company.
- Brigham, F., Scruggs, T., & Mastropieri, M. (2011). Science Education and Students with Learning Disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 26(4), 223-232. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5826.2011.00343.x>
- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction – A framework for improving teaching and learning science. Στο D. Jorde & J. Dillon (Επιμ.), *Science education research and practice in Europe: Retrospective and prospective*, σσ. 13–37. SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2003). Investigating Greek students' ideas about forces and motion. *Research in Science Education*, 33(3), 375-392. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1025457116654>
- Mitrakas, N., Tsihouridis, C., Batsila, M., & Vavougiος, D. (2023). Electromagnetic waves and their quantum nature: Starting from “Scratch”. Στο M. E. Auer, W. Pachatz, & T. Rүүtmann (Επιμ.), *Learning in the age of digital and green transition. ICL 2022* (Lecture Notes in Networks and Systems, τ. 633, σσ. 730–741). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26876-2_69
- Mitrakas, N, Tsihouridis, C & Vavougiος D. (2024). Using Mixed Reality in the Educational Practice: An Inquiry-Based Process of the Fluid Expansion–Contraction Phenomena by Pre-Service Teachers. *Education Sciences*, 14(7), 754. <https://doi.org/10.3390/educsci14070754>
- Mortimore, T., & Croxford, L. (2008). *Dyslexia and learning style: A practitioner's handbook* (2^η έκδ.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470987940>
- Planinic, M., Boone, W. J., Krsnik, R., & Beilfuss, M. L. (2006). Exploring alternative conceptions from Newtonian dynamics and simple DC circuits: Links between item difficulty and item confidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(2), 150-171. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20101>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2007). Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design for Learning [Book review]. *Educational Technology Research and Development*, 55(5), 521–525. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9056-3>
- Tomlinson, C. A., & Imbeau, M. B. (2010). *Leading and managing a differentiated classroom* (2^η έκδ.). ASCD. <https://files.ascd.org/pdfs/publications/books/Leading-and-Managing-A-Differentiated-Classroom-2ed-sample-pages.pdf>
- Tsihouridis, C., & Mitrakas, N. (2025). The phenomenon of seasons through a hyper-interactive 3D environment: Aiming at highlighting prospective teachers' creativity. Στο M. E. Auer & T. Rүүtmann (Επιμ.), *Futureproofing engineering education for global responsibility. ICL 2024* (Lecture Notes in Networks and Systems, τ. 1281, σσ. 72–83). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83520-9_7
- Tsihouridis, C., Mitrakas, N., Batsila, M., & Vavougiος, D. (2024). A holistic view of using real and virtual models in teaching astronomy concepts. Στο M. E. Auer, U. R. Cukierman, E. Vendrell Vidal, & E. Tovar Caro (Επιμ.), *Towards a hybrid, flexible and socially engaged higher education. ICL 2023* (Lecture Notes in Networks and Systems, τ. 900, σσ. 104–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52667-1_12
- Tsihouridis, C., Mitrakas, N., Karavasilis, A., Vavougiος, D., & Batsila, M. (2025). The invisible world of gas molecules in the light of mixed reality: Educating prospective teachers. Στο M. E. Auer & T. Rүүtmann (Επιμ.), *Futureproofing engineering education for global responsibility. ICL 2024* (Lecture Notes in Networks and Systems, τ. 1261, σσ. 141–152). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85649-5_15
- Vosniadou, S. (2019). Conceptual change research: An introduction. Στο S. Vosniadou (Επιμ.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (2^η έκδ., σσ. 1–14). Routledge.
- Yusof, M. M. M., Dalim, S. F., Ibrahim, N., & Ramli, M. F. (2013). The level of understanding of students and teachers in the concept of force and motion. Στο Proceeding of the International Conference on Social Science Research. Penang. Malaysia: World Conferences. Net. ISBN 978-967- 11768-1-8