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

Αξιολόγηση της εισαγωγικής φάσης μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας σε θέματα σωματιδιακής φυσικής

Στυλιανή Κλαυδιανού, Αναστάσιος Μολοχίδης

doi: 10.12681/codiste.6886

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 13/03/2026 03:15:24

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗΣ ΦΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Στυλιανή Κλαυδιανού[1], Αναστάσιος Μολοχίδης[2]

[1]Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης, Υποψήφια Διδάκτωρ,
[2]Αναπλ. Καθ., Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας
Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

sklafdia@physics.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σωματιδιακή φυσική αποτελεί γνωστικό περιεχόμενο που ενδιαφέρει τους μαθητές, μιας και είναι πειραματικά ενεργή και επίκαιρη στην επιστημονική κοινότητα. Το ελληνικό πρόγραμμα σπουδών εμπεριέχει αποσπασματικά έννοιες σωματιδιακής φυσικής χωρίς να υπάρχει ωστόσο ειδικό κεφάλαιο. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει το εισαγωγικό στάδιο του σχεδιασμού μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας (ΔΜΑ) σε θέματα σωματιδιακής φυσικής: διερευνήθηκαν εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, όπως αυτές αναφέρονται στη βιβλιογραφία, αναπτύχθηκαν δραστηριότητες που διαχειρίζονται το εννοιολογικό περιεχόμενο και εισάγουν τον πειραματισμό με στόχο να βοηθηθούν οι μαθητές να διαχειριστούν τις δυσκολίες αυτές.

Λέξεις κλειδιά: φυσική στοιχειωδών σωματιδίων, εναλλακτικές αντιλήψεις μαθητών, διδακτική μαθησιακή ακολουθία (ΔΜΑ)

EVALUATION OF THE INITIAL PHASE OF A TEACHING LEARNING SEQUENCE IN PARTICLE PHYSICS

Styliani Klavdianou[1], Anastasios Molohidis[2]

[1]Science Teacher, PhD candidate,
[2]Associate Professor, Laboratory of Didactics of Physics and Educational Technology
School of Physics, Aristotle University of Thessaloniki

sklafdia@physics.auth.gr

ABSTRACT

Particle physics is a subject content that interests students since it is experimentally active and of great relevance to the scientific community. The Greek curriculum contains fragmentary concepts of particle physics without a specific chapter. This paper presents the initial phase of developing a Teaching Learning Sequence (TLS) that explores students' alternative conceptions, as relevant research shows, and appropriate activities were designed dealing with subject matter and introducing experimentation trying to help students manage these difficulties.

Keywords: elementary particle physics, alternative conceptions, Teaching Learning Sequence (TLS)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εισαγωγή της σύγχρονης φυσικής στο ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης γίνεται αποσπασματικά. Ενδεικτικές αναφορές γίνονται στα μαθήματα Φυσικής της Β' Λυκείου γενικής παιδείας, όπως η σωματιδιακή φύση του φωτός, καθώς και από το σχολικό έτος 2022-23, στην Γ' λυκείου, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton. Η εισαγωγή της σύγχρονης φυσικής στην εκπαίδευση, και ο συνεπακόλουθος διδακτικός μετασχηματισμός που απαιτείται, αποτελεί ένα καίριο ερευνητικό ερώτημα στην διδακτική της φυσικής (Michelini et al., 2015˙ Polen, 2019). Μελέτες προτείνουν την παρουσίαση εννοιών της σύγχρονης φυσικής για την βελτίωση της μάθησης και αύξηση του ενδιαφέροντος για την επιστήμη (Bertozzi et al., 2013˙ Polen, 2019). Άλλες μελέτες θεωρούν ότι η σύγχρονη φυσική εμπεριέχει ανώτερα μαθηματικά και πολύπλοκες έννοιες που οι μαθητές ενδεχομένως να έχουν δυσκολία στο να τις κατανοήσουν (Johnston et al., 1998˙ Olsen, 2002).

Η διδακτέα ύλη που σχετίζεται με τη σωματιδιακή φυσική (ΣΦ) σταματά συνήθως στη δομή της ύλης, δηλαδή στη φυσική έως το τέλος του 19ου αιώνα ή στις αρχές του 20ου αιώνα, αγνοώντας την τρέχουσα εικόνα που παρέχει το Καθιερωμένο Μοντέλο της Φυσικής Σωματιδίων. Μια διεθνής επισκόπηση των αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης 27 κρατών (Kranjc Horvat et al., 2022) σχετικά με τη διδασκαλία της σωματιδιακής φυσικής παρουσιάζει δύο τύπους προγραμμάτων. Υπάρχουν χώρες που εμπεριέχουν τη ΣΦ σε ειδικό κεφάλαιο και χώρες όπως η Ελλάδα που εμπεριέχουν αποσπασματικά έννοιες ΣΦ χωρίς ειδικό κεφάλαιο. Στις χώρες που παρουσιάζονται ρητά έννοιες ΣΦ φαίνεται να υπάρχουν ελάχιστες ή ανύπαρκτες αναφορές σχετικά με τις πειραματικές διαδικασίες της φυσικής των σωματιδίων, έστω και αν οι μαθητές έρχονται συχνά σε επαφή στα μέσα ενημέρωσης με τους όρους της, λόγω της διάχυσης των ερευνών που γίνονται στο CERN.

Η ερευνητική κοινότητα ενθαρρύνει στην εισαγωγή της ΣΦ στην σχολική τάξη και αυτό που ερευνάται είναι η αποτελεσματικότερη μέθοδος εισαγωγής της. Προβληματισμό παρουσιάζει ο Gourlay (2017), που εφάρμοσε μια δραστηριότητα που στηριζόταν στην χρήση εννοιολογικών χαρτών με 24 λέξεις κλειδιά, σε σχολεία του Λονδίνου. Το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό και το αποτέλεσμα συμφωνούσε με την άποψη του Barlow (1992) ο οποίος αμφισβήτησε την ιδέα διδασκαλίας της ΣΦ στο σχολικό επίπεδο, μιας και η ΣΦ εμπεριέχει πληθώρα πληροφοριών που οι μαθητές καλούνται να μάθουν. Παρά τους όποιους, περιορισμένους, προβληματισμούς, η σύγχρονη τάση είναι η μελέτη της εισαγωγής της σύγχρονης φυσικής στην εκπαίδευση (Lewerissa et al., 2017˙ Stadermann et al., 2019). Σε έρευνά του ο Polen (2019) σε σχολεία της Virginia, USA, ασχολήθηκε με θεματολογία που αφορούσε την χρησιμότητα επιταχυντών-ανιχνευτών, τα θεμελιώδη δομικά σωματίδια και την ταξινόμηση τους. Οι Michelini et al. (2015) διερευνήσαν τη διαδικασία μάθησης και την αποτελεσματικότητα των ΤΠΕ στην εισαγωγή της σύγχρονης φυσικής. Το συμπέρασμα της εργασίας έδειξε ότι τα πειράματα βοήθησαν τους μαθητές να δείξουν θετική μαθησιακή πρόοδο. Αυτό που είναι γενικά αποδεκτό είναι ότι η ΣΦ αποτελεί την παρούσα στιγμή μια ενότητα που ενδιαφέρει τους μαθητές μιας και είναι επίκαιρη στην επιστημονική κοινότητα (Tuzón & Solbes, 2016).

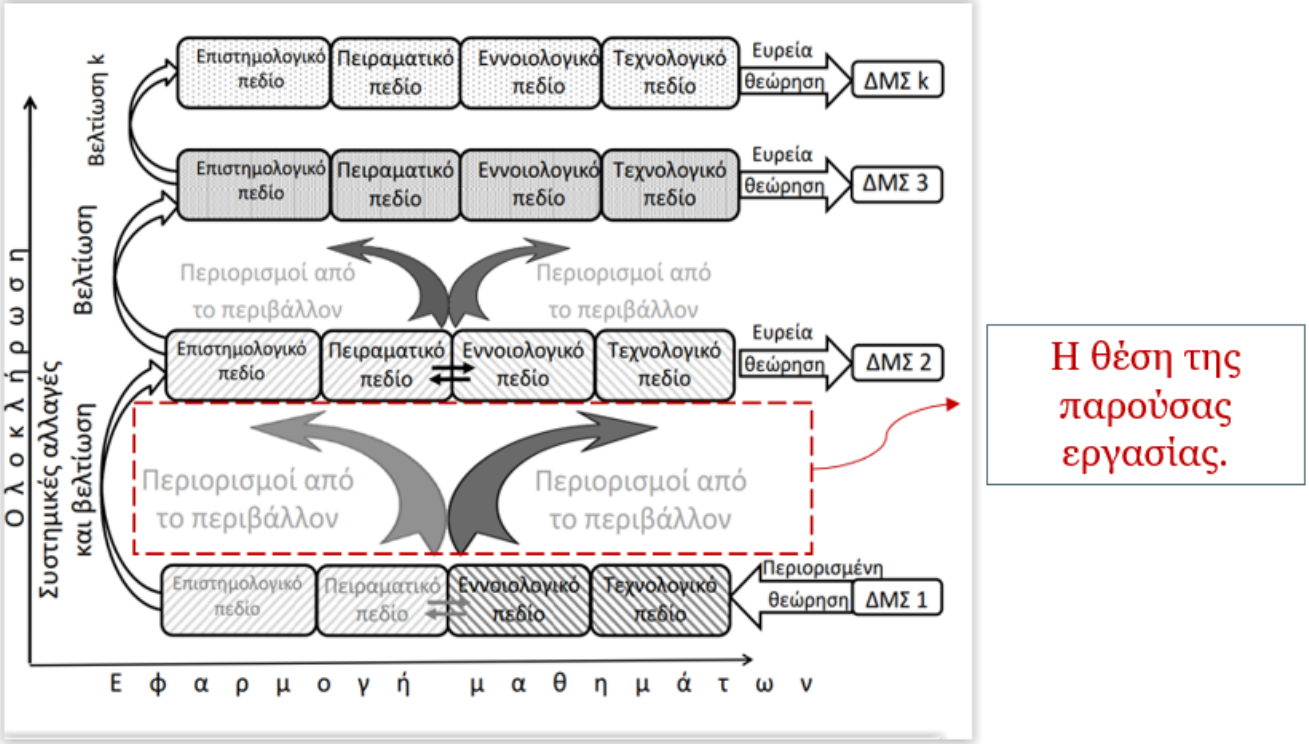
Κατά την αναζήτηση ερευνών που αφορούσαν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σε θέματα ΣΦ, εντοπίσθηκαν μελέτες που παρουσιάζουν τη δυσκολία των μαθητών στην κατανόηση των ακραίων κλιμάκων, ιδιαίτερα των μικρών (Tretter et al., 2006a˙ Tretter et al., 2006b). Στο πεδίο αυτό υπάρχουν έρευνες που δείχνουν ότι οι μαθητές γυμνασίου γνωρίζουν ότι, η ύλη αποτελείται από άτομα και μόρια, αλλά οι ιδέες τους είναι κατακερματισμένες. Οι μαθητές πιστεύουν ότι μπορούν να δουν άτομα ή μόρια κάτω από ένα οπτικό μικροσκόπιο με τον ίδιο τρόπο που μπορούν να δουν τα μικρόβια (Nakhleh et al., 2005). Στις κλίμακες, συγκρίσιμες με το μέγεθος του ανθρώπινου σώματος, οι αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές είναι πολύ ακριβείς.

Αντιθέτως, η ακρίβεια στις μικρότερες κλίμακες μειώνεται αισθητά (Tretter et al., 2006b). Επίσης, μαθητές με υψηλό γνωστικό επίπεδο είχαν καλύτερα αποτελέσματα στην ικανότητα ταξινόμησης σωματιδίων του μικρόκοσμου (Delgado et al., 2007˙ Tretter et al., 2006a). Τέλος, δεδομένου ότι η νανομετρική κλίμακα δεν είναι άμεσα προσβάσιμη σε άμεσο αισθητηριακό πείραμα, οδηγούμαστε στην αναγκαιότητα εισαγωγής μοντέλων (Delgado et al., 2007˙ Stevens et al., 2009).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εισαγωγική φάση του σχεδιασμού μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας (ΔΜΑ) σχετικά με την εισαγωγή της σωματιδιακής φυσικής σε μαθητές λυκείου. Σύμφωνα με το μοντέλο DOIES (Model for a Domain Oriented Iterative Evolution of a TLS) (Psillos et al., 2016), στην αρχική περιορισμένη θεώρηση της ανάπτυξης μιας ΔΜΑ, σχεδιάζονται δραστηριότητες που διερευνούν τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σε θέματα που αφορούν την κλίμακα στον μικρόκοσμο και εισάγουν τον πειραματισμό, με την χρήση προσομοίωσης. Τα ερευνητικά ερωτήματα που ανιχνεύτηκαν ήταν κατά πόσον βελτιώθηκαν οι αρχικές γνώσεις των μαθητών μετά την εμπλοκή τους με το προς τούτοις σχεδιασμένο υλικό.

Το μοντέλο για μια συνεχώς εξελισσόμενη Διδακτική και Μαθησιακή Ακολουθία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Psillos et al., 2016), όπου, με το κόκκινο διακεκομμένο πλαίσιο, αποδίδεται η θέση της παρούσας εργασίας στην διερεύνηση περιορισμών από το περιβάλλον.

Σχήμα 1. Η Θέση της παρούσας εργασίας στο Μοντέλο DOIES



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Βασικοί άξονες της μεθοδολογίας είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η υλοποίηση και η αξιολόγηση, μέσω επαναληπτικών εφαρμογών μιας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) (Psillos & Kariotoglou, 2016). Η ανάπτυξη του εννοιολογικού πυλώνα της ΔΜΑ, βασίζεται στο μοντέλο της Διδακτικής Επανοικοδόμησης, ή Εκπαιδευτικής Αναδόμησης (MER, Model of Educational Reconstruction) (Duit, 2007).

Για την αποτελεσματική ανάπτυξη μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας απαραίτητο είναι ο εντοπισμός και η αντιμετώπιση των περιορισμών από το περιβάλλον όπως αυτές καταγράφονται τόσο από την βιβλιογραφία όσο και από τις πρώτες διερευνητικές εφαρμογές των δραστηριοτήτων. Περιβάλλον θεωρείται η ομάδα των μαθητών που συμμετέχουν στην έρευνα, με τις προϋπάρχουσες γνώσεις τους και τις ενναλακτικές αντιλήψεις τους. Η διδακτική παρέμβαση αποτελείται από τρεις φάσεις:

Η πρώτη φάση είναι το φύλλο εργασίας όπου περιέχονται οι δραστηριότητες που σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν βασισμένες στις προϋπάρχουσες γνώσεις των μαθητών και στις ενναλακτικές αντιλήψεις τους, όπως αυτές αναφέρονται στην βιβλιογραφία. Οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών αρχικά καταγράφονται δηλωτικά με την χρήση ερωτήσεων, ανάλογων με τις ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις συνεντεύξεις των Delgado et al. (2007). Το πρώτο φύλλο εργασίας περιείχε συγκρίσεις μεγεθών σωματιδίων ή οργανιδίων που έχουν γνωρίσει οι μαθητές στην σχολική τάξη ξεκινώντας από τα κουάρκ. Επίσης, σε αυτή την φάση διερευνηθήκαν και οι αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την δυνατότητα των οπτικών μικροσκοπίων του σχολικού εργαστηρίου. Θα πρέπει να τονιστεί ότι και οι μαθητές και στα δύο σχολεία είχαν πρόσβαση σε οπτικό μικροσκόπιο και είχαν υλοποιηθεί εργαστηριακές ασκήσεις με αυτό.

Στην δεύτερη φάση εφαρμόστηκε ένα δεύτερο φύλλο εργασίας με στοχευμένες δραστηριότητες που συμπεριλαμβάναν διδακτικές προτάσεις για την αντιμετώπιση των δυσκολιών που είχαν καταγραφεί στην βιβλιογραφία, στο πλαίσιο της εννοιολογικής αλλαγής. Το δεύτερο φύλλο εργασίας που δημιουργήθηκε ήταν βασισμένο σε προσομοίωση πολλαπλών αναπαραστάσεων (https://www.htwins.net/scale2). Η προσομοίωση εμπεριείχε την εικονική αναπαράσταση ενός μεγάλου αριθμού σωματιδίων του μικρόκοσμου και παράλληλα έδινε την δυνατότητα πληροφοριών σχετικά με αυτά καθώς και τις διαστάσεις τους. Επίσης, η προσομοίωση παρουσίαζε τις δυνατότητες της ανθρώπινης όρασης καθώς και των οπτικών και ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Μέσα από τις δραστηριότητες που δόθηκαν, οι μαθητές μπορούσαν να συμπεράνουν την εμβέλεια των οργάνων καθώς και ποια σωματίδια μπορούν να παρατηρηθούν με αυτά. Μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας και μετά το χρονικό διάστημα δύο εβδομάδων ακολούθησε η τρίτη φάση, με το τρίτο φύλλο εργασίας που ήταν ουσιαστικά το φύλλο αξιολόγησης της διδακτικής παρέμβασης. Το φύλλο αξιολόγησης είχε ανάλογη δομή με το πρώτο φύλλο εργασίας της πρώτης φάσης που στόχο είχε να διερευνηθούν οι εναλλακτικές απόψεις των μαθητών.

Η διδακτική παρέμβαση εφαρμόστηκε σε δύο σχολικές μονάδες και μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης στη πρώτη σχολική μονάδα, έγινε επανασχεδιασμός της πρώτης φάσης εφαρμογής της ΔΜΑ. Έγιναν βελτιώσεις και αναπροσαρμογές, όχι τόσο στη οργάνωση και την διάρθρωση των δραστηριοτήτων, αλλά κυρίως στην επαναδιατύπωση των ερωτήσεων και στην αλλαγή των σωματιδίων στις δραστηριότητες για τα μικροσκόπια, ώστε να είναι έντονα διακριτές οι διαφοροποιήσεις των μεγεθών τους. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας στηρίχθηκε στο φύλλο εργασίας της πρώτης φάσης, που διερευνούσε τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, και στο τρίτο φύλλο εργασίας που αφορούσε την αξιολόγηση. Καταγράφηκαν οι λάθος συγκρίσεις και οι ελλιπείς επιλογές των μαθητών και στα δύο φύλλα και εξήχθησαν τα αποτελέσματα.

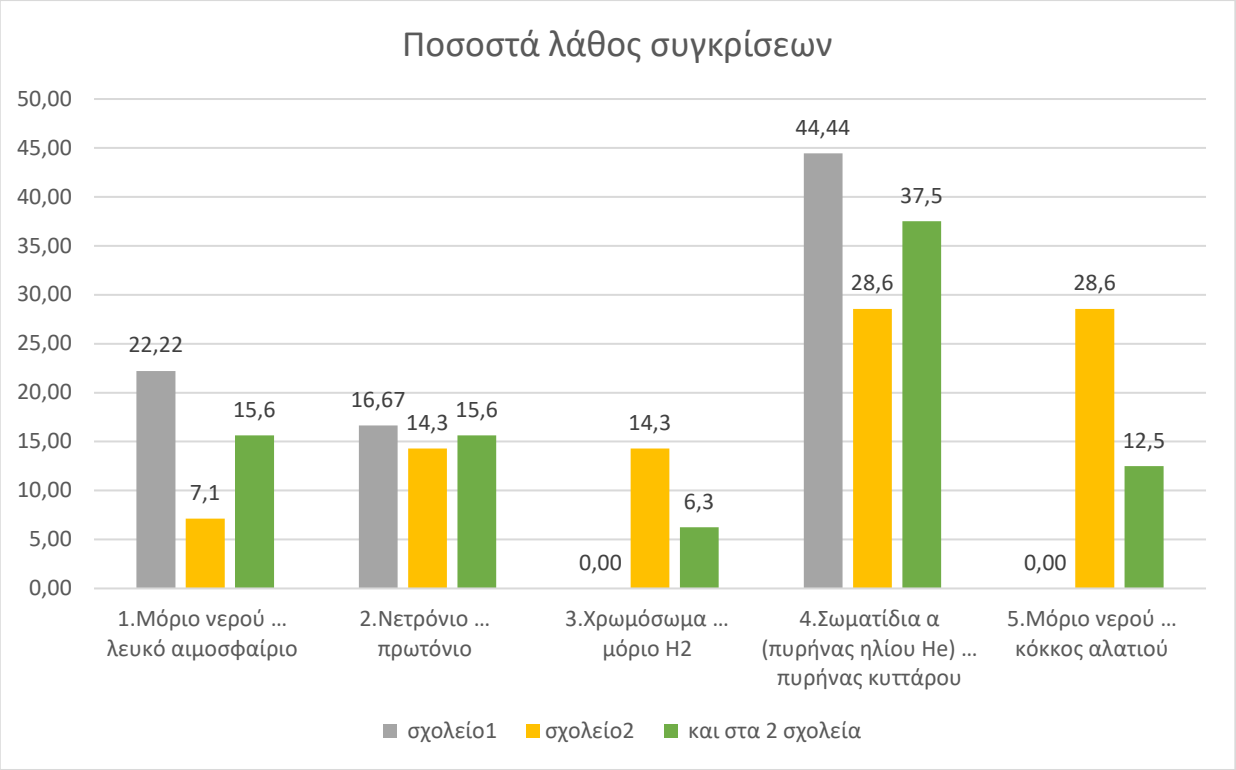
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα φύλλα εργασίας, διάρκειας τριών διδακτικών ωρών, εφαρμόστηκαν ατομικά σε κάθε μαθητή, σε δύο πανομοιότυπα σχολεία (Πρότυπα ΓΕΛ), σε μαθητές και μαθήτριες της Β’ Λυκείου γενικής παιδείας και αντλήθηκαν 32 ολοκληρωμένα φύλλα εργασίας. Δηλαδή και οι 32 μαθητές είχαν συμπληρώσει και τα τρία φύλλα εργασίας, των τριών φάσεων της παρέμβασης. Στο σχολείο 1 συμμετείχαν 19 μαθητές/μαθήτριες ενώ στο σχολείο 2 συμμετείχαν 13 μαθητές/μαθήτριες. Καταγράφηκαν οι λάθος συγκρίσεις, οι αιτιολογήσεις όπου

αυτές ζητήθηκαν και οι ελλιπείς επιλογές των μαθητών και στο πρώτο και το τρίτο φύλλο εργασίας και εξήχθησαν τα αποτελέσματα.

Οι πέντε συγκρίσεις που ζητήθηκαν στο αρχικό φύλλο, προκειμένου να διερευνηθούν οι αντιλήψεις των μαθητών, φαίνονται στο **Πίνακα 1.** Στο διάγραμμα καταγράφονται στις πρώτες δύο στήλες κάθε δοθείσας σύγκρισης, τα ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων από τους μαθητές του κάθε σχολείου, ενώ στην τρίτη στήλη καταγράφεται ο μέσος όρος των λανθασμένων συγκρίσεων και των δύο σχολείων μαζί. Στις συγκρίσεις που δεν υπάρχει γκρι στήλη, δεν καταγράφηκε λάθος απάντηση από τους μαθητές.

Πίνακας 1

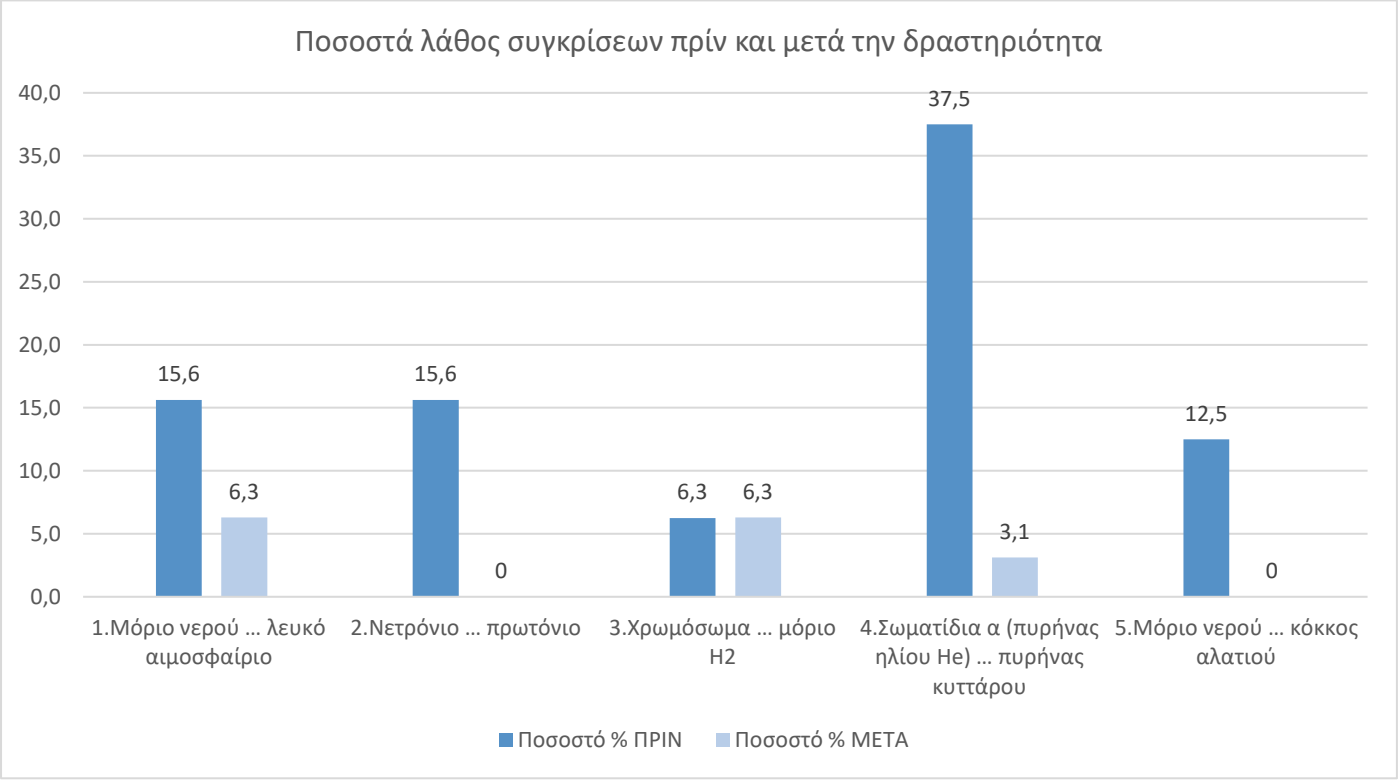


Είναι εμφανές ότι παρατηρούνται δυσκολίες από ορισμένους μαθητές στις συγκρίσεις σε κλίμακες μεγέθους χημικών και βιολογικών δομών (μόριο νερού - λευκό αιμοσφαίριο, χρωμόσωμα- μόριο H_2 και σωματίδια α-πυρήνας κυττάρου) αλλά και σε επίπεδο μικροσκοπικών και μακροσκοπικών μεγεθών (μόριο νερού-κόκκος αλατιού). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις συγκρίσεις, είχε ζητηθεί από τους μαθητές να δικαιολογήσουν και κάποιες από τις επιλογές τους. Η αιτιολόγηση των επιλογών βοήθησε ώστε να εξαχθούν επιπλέον συμπεράσματα για τον συλλογισμό των επιλογών των μαθητών καθώς και να διερευνηθεί η επιλογή λίγων (2 μαθητών) αλλά μετρήσιμων για την μελέτη, όπου στην σύγκριση πρωτονίου νετρονίου είχαν καταγράψει ότι το νετρόνιο είναι μεγαλύτερο, κάτι το οποίο είναι αληθές και λόγω της ελάχιστης διαφοράς τους, συμβατικά, τα σχολικά βιβλία θεωρούν ότι είναι ίσα. Ενδιαφέρον αποτέλεσμα παρατηρείται από τη σύγκριση μεταξύ των σωματιδίων α και των πυρήνων των κυττάρων. Από τα 32 απαντητικά φύλλα εργασίας, 12 μαθητές απάντησαν λάθος, με τους μισούς από αυτούς να θεωρούν ότι τα μεγέθη τους είναι ίσα. Στη σύγκριση αυτή είχε δοθεί ότι τα σωματίδια α είναι πυρήνες He και είχε ζητηθεί επιπρόσθετα να τεκμηριώσουν την επιλογή τους. Μόνο 6 από τους 34 μαθητές είχαν κατανοήσει την διαφορά του πυρήνα του κυττάρου από τον πυρήνα του ατόμου. Στην σύγκριση που αφορά το μόριο του υδρογόνου με το χρωμόσωμα, μόνο 11 μαθητές στήριξαν την επιλογή τους με σωστά αιτιολογημένη απάντηση που στηριζόταν στις γνώσεις τους

για την δομή του χρωμοσώματος. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει τις μελέτες των Delgado et al. (2007) και Tretter et al. (2006a) που υποστηρίζουν ότι μαθητές με υψηλό γνωστικό επίπεδο έχουν καλύτερα αποτελέσματα στην ικανότητα ταξινόμησης σωματιδίων σε μη ορατά μεγέθη. Αυτό οφείλεται στον συλλογισμό που κάνουν γνωρίζοντας την δομή και τον ρόλο του κάθε σωματιδίου στην φύση. Στις δραστηριότητες που αφορούσαν τις δυνατότητες των οπτικών μικροσκοπίων, οι μαθητές στο αρχικό φύλλο διερεύνησης των απόψεών τους, έκαναν κάποιες σωστές επιλογές αλλά με αρκετές ελλείψεις. Παρατηρήθηκε ότι σε τρία ερωτηματολόγια επιλέχθηκε το σωματίδια α, ως σωματίδιο που μπορεί να παρατηρηθεί με οπτικό μικροσκόπιο (έστω και αν είχε δοθεί η πληροφορία ότι πρόκειται για πυρήνες He) και σε 10 απαντητικά φύλλα το μόριο του νερού.

Στον **πίνακα 2** καταγράφονται τα αποτελέσματα των λανθασμένων συγκρίσεων πριν και μετά την εφαρμογή του φύλλου εργασίας και για τις δύο σχολικές μονάδες. Η πρώτη στήλη αφορά το συνολικό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και από τα δύο σχολεία πριν το δεύτερο φύλλο εργασίας και η δεύτερη στήλη το συνολικό ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων και από τα δύο σχολεία μετά την εφαρμογή του δεύτερου φύλλου εργασίας. Όπου δεν υπάρχει δεύτερη στήλη, δεν έχει καταγραφεί λανθασμένη απάντηση.

Πίνακας 2



Μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας και την συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης δεν παρατηρήθηκε λάθος άξιο επισήμανσης, στις δραστηριότητες σύγκρισης. Στις δραστηριότητες που αφορούσαν τα οπτικά μικροσκόπια και τις δυνατότητες παρατήρησης σωματιδίων σε αυτά η συντριπτική πλειοψηφία είχε κάνει σωστές επιλογές αλλά όχι όλες (έλειπαν 2 ή 3). Ανάλογες δυσκολίες έχουν καταγραφεί και από τους Griffiths & Preston (1992).

Μετά την εφαρμογή, τα σχόλια των μαθητών ήταν θετικά. Βρήκαν την προσομοίωση που χρησιμοποιήθηκε προσιτή και εύκολη στη χρήση. Εντυπωσιάστηκαν από τον μεγάλο αριθμό σωματιδίων μικρότερων από τα

νουκλεόνια, καθώς και από τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Τέλος, όλοι οι μαθητές ενθουσιάστηκαν με την προσομοίωση και τη νέα τους αντίληψη για τον κόσμο και το σύμπαν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γεγονός ότι δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν πραγματικές πειραματικές (hands-on) ασκήσεις σχετικά με τη σωματιδιακή φυσική οδηγεί τους μαθητές σε ανεπαρκείς προαπαιτούμενες γνώσεις και επιβαρύνει την έρευνά της εισαγωγής της σωματιδιακής φυσικής στην σχολική τάξη με επιπλέον δυσκολίες. Η δυσκολία αυτή προκύπτει επειδή η παρατήρηση και η μελέτη σωματιδιακών φαινομένων, βρίσκονται σε κλίμακες πολύ μικρότερες από αυτές που μπορούν να γίνουν αντιληπτές με γυμνά μάτια ή με τα συνήθη σχολικά όργανα. Η διδακτική παρέμβαση στόχευε να διερευνήσει τις αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τα μεγέθη των σωματιδίων, που συναντούν στα μαθήματα θετικών επιστημών, καθώς και με τις δυνατότητες της ανθρώπινης όρασης και των οργάνων που χρησιμοποιούνται για τις μικρότερες κλίμακες. Επιπλέον στόχος ήταν να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της χρήσης της προσομοίωσης πολλαπλών αναπαραστάσεων, προκειμένου οι μαθητές να αντιμετωπίζουν αυτές τις δυσκολίες.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των ερωτηματολογίων έδειξαν ότι υπάρχουν μαθητές στις τελευτές τάξεις του λυκείου που έχουν λανθασμένες αντιλήψεις για τα μεγέθη των σωματιδίων καθώς επίσης και για τις δυνατότητες της ανθρώπινης όρασης και του οπτικού μικροσκοπίου. Μετά την υλοποίηση της παρέμβασης οι μαθητές αύξησαν σημαντικά τις γνώσεις τους σχετικά με τις αναλογίες των σωματιδίων. Επιβεβαιώνεται ότι η χρήση προσομοιώσεων με οπτικές αναπαραστάσεις μπορούν να αποτελέσουν ένα αποτελεσματικό εργαλείο για το μάθημα των φυσικών επιστημών (Kohl & Finkelstein, 2017˙ Opfermann et al., 2017) και ειδικότερα στη σωματιδιακή φυσική, όπου η χρήση μοντέλων είναι κυρίαρχη. Η δυνατότητα συμπερίληψης προσομοιώσεων στην μαθησιακή διαδικασία μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα που υπάρχει λόγω της απουσίας πραγματικών πειραματικών ασκήσεων σε σημαντικά κεφάλαια της φυσικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barlow, R. (1992). Particle physics: from school to university. *Phys. Educ. 27*(2), 92–5. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/27/2/007

Bertozzi, E., Levrini, O., & Rodriguez, M., (2013). Symmetry as Core-idea for Introducing Secondary School Students to Contemporary Particle Physics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 116,* 679-685. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.279

Delgado, C., Stevens, S., Shin, N., Yunker, M., & Krajcik, J. (2007). The development of students' conceptions of size. *Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching* (NARST), New Orleans, LA.

Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *EURASIA J Math Sci Tech Ed, 3*(1), 3-15. https://doi.org/10.12973/ejmste/75369

Gourlay, H., (2017). Using concept mapping to learn about A level physics students' understandings of particle physics. *Proceedings, 6th International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP 2017), EPJ Web of Conferences 182.* https://doi.org/10.1051/epjconf/201818202050

Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *J. of Res. in Science Teaching*, *29*(6), 611-628. https://doi.org/10.1002/tea.3660290609

Johnston, I., Crawford, K., & Fletcher, P. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education, 20*(4), 427-446. https://doi.org/10.1080/0950069980200404

Kohl B.P. & Finkelstein N. Understanding and Promoting Effective Use of Representations in Physics Learning (2017). In D. F. Treagust, R. Duit & H. E. Fischer (eds.) Multiple Representations in Physics Education, Models and Modeling in Science Education 10, ch.11, 231-254. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_11

Kranjc Horvat, A., Wiener, J., Schmeling, S.M., Borowski, A. (2022) What Does the Curriculum Say? Review of the Particle Physics Content in 27 High-School Physics Curricula. *Physics 2022*, *4*, 1278-1298. https://doi.org/10.3390/physics4040082

Lewerissa, K., Pol, H., Brinkman, A. & Wouter van Joolingen. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 13,* 010109. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109

Michelini, M., Santi, L., & Stefanel, A. (2015) Teaching modern physics in secondary schools. Proceedings, *14th International Symposium Frontiers of Fundamental Physics* (FFP14). https://doi.org/10.22323/1.224.0231

Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A., & Saglam, Y. (2005). Middle school students' beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching, 42*(5), 581–612. https://doi.org/10.1002/tea.20065

Olsen, R. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. *International Journal of Science Education, 24*(6). 565-574. https://doi.org/10.1080/09500690110073982

Opfermann M., Schmeck A., & Fischer E.H. Multiple Representations in Physics and Science Education – Why Should We Use Them? (2017). In D. F. Treagust, R. Duit & H. E. Fischer (eds.) Multiple Representations in Physics Education, Models and Modeling in Science Education 10, ch.1, 1-22. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_1

Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical Issues related to Designing and Developing Teaching – Learning Sequences. In D. Psillos, P. Kariotoglou (Eds), *Iterative Design of Teaching - Learning Sequences*, pp 11-34. Springer. ISBN 978-94-007-7807-8. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_2.

Psillos, D., Molohidis A., Kallery M., & Hatzikraniotis E. (2016). The Iterative Evolution of a Teaching Learning Sequence on the Thermal Conductivity of Materials. In D. Psillos, P. Kariotoglou (Eds), *Iterative Design of Teaching - Learning Sequences*, 287-329. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_11.

Polen, C. (2019). Particle Physics: An Essential and Engaging Part of the High School Physics Program. *The Physics Teacher*, *57*(5), 320. https://doi.org/10.1119/1.5098922

Stadermann, H., van den Berg, E. & Goedhart, M. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspective on a challenging topic. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 15*, 010130. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130

Stevens S.Y., Sutherland L., & Krajcik J.S. (2009). *The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering: A Guidebook for Secondary Teachers*. NSTA Press: Arlington, VA. ISBN 978-1-935155-07-2

Tretter T., Jones G., Minogue J. (2006a) Accuracy of scale conceptions in science: Mental maneuverings across many orders of spatial magnitude. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*(10), 1061-1085. https://doi.org/10.1002/tea.20155

Tretter, T.R., Jones, M.G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006b). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching, 43*, 282–319. https://doi.org/10.1002/tea.20123

Tuzón P. & Solbes J. (2016). Particle Physics in High School: A Diagnose Study. *PLoS ONE, 11*(6), e0156526 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156526