

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

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)

Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

## ΠΡΑΚΤΙΚΑ

### 14<sup>ο</sup>

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες  
στην Εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές

Στην μνήμη της Άννας Σπύριου

12-14 Απριλίου 2025

**ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ  
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΔΠΘ  
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΔΠΘ**

Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,  
Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών,  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

[synedrio2025.enepnet.gr](http://synedrio2025.enepnet.gr)

## Διαδικασίες Μάθησης Φοιτητών/τριών Φυσικών Επιστημών για τις Εξαρτώμενες από το Μέγεθος Οπτικές Ιδιότητες Νανοϋλικών

*Ιωάννης Μεταξάς, Αιμιλία Μιχαηλίδη, Δημήτρης Σταύρου, Ιωάννης Παυλίδης*

doi: [10.12681/codiste.9906](https://doi.org/10.12681/codiste.9906)

## Διαδικασίες Μάθησης Φοιτητών/τριών Φυσικών Επιστημών για τις Εξαρτώμενες από το Μέγεθος Οπτικές Ιδιότητες Νανοϋλικών

Ιωάννης Μεταξάς<sup>1</sup>, Αιμιλία Μιχαηλίδη<sup>2</sup>, Δημήτρης Σταύρου<sup>3</sup> και Ιωάννης Παυλίδης<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ερευνητής, <sup>2</sup>Επίκουρη Καθηγήτρια, <sup>3,4</sup>Καθηγητής

<sup>1,4</sup>Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

<sup>2,3</sup>Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Κρήτης

<sup>1</sup>*gmetaxas@uoc.gr*

### Περίληψη

Η Νανοτεχνολογία είναι καινοτόμο επιστημονικό πεδίο με ευρέως καταγεγραμμένη διδακτική αξία σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Αυτή η εργασία βασίζεται στις αρχές του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης και αφορά στην εφαρμογή ενός διδακτικού πειράματος σχετικά με τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα. Σκοπός της εφαρμογής ήταν η διερεύνηση των διαδικασιών μάθησης φοιτητών/τριών τμημάτων χημείας, φυσικής και βιολογίας. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων κατέδειξε έξι διαδικασίες μάθησης για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες στην νανοκλίμακα οι οποίες παρουσίαζαν συνεχής και ασυνεχής εννοιολογικές αναδομήσεις.

**Λέξεις κλειδιά:** διαδικασίες μάθησης, εννοιολογική αναδόμηση, νανοτεχνολογία

## Science Students' Learning Processes for the Size-Dependent Optical Properties of Nanomaterials

Ioannis Metaxas<sup>1</sup>, Emilia Michailidi<sup>2</sup>, Dimitris Stavrou<sup>3</sup> and Ioannis Pavlidis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Researcher, <sup>2</sup>Associate Professor, <sup>3,4</sup>Professor

<sup>1,4</sup>Department of Chemistry, University of Crete

<sup>2,3</sup>Department of Primary Education, University of Crete

<sup>1</sup>*gmetaxas@uoc.gr*

### Abstract

Nanotechnology is an innovative scientific field with widely documented educational value at all levels of education. This work is based on the Model of Educational Reconstruction and it concerns the implementation of a teaching experiment on size-dependent optical properties of nanomaterials. The purpose of this study was to investigate the learning processes of undergraduate students of chemistry, physics and biology departments. Analysis of the results revealed six learning processes for size-dependent optical properties at the nanoscale that exhibited both continuous and discontinuous conceptual reconstructions.

**Keywords:** educational reconstruction, learning processes, nanotechnology

### Εισαγωγή

Το πεδίο της Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας (NET) είναι ένα διεπιστημονικό επιστημονικό πεδίο με ραγδαίες εξελίξεις τις τελευταίες δύο δεκαετίες και εδραιωμένη διδακτική αξία. Ιδιαίτερα στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, η εκπαίδευση σε θέματα NET αποκτά ένα ιδιαίτερο ρόλο, καθώς οι φοιτητές των πανεπιστημίων θα πρέπει να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι ώστε να μπορούν να ακολουθήσουν καριέρες στον τομέα της NET

και στις συναφείς βιομηχανικές εφαρμογές της (O'Connor & Hayden, 2008). Προκειμένου να ενσωματωθεί ένα συγκεκριμένο επιστημονικό αντικείμενο σε οδηγούς σπουδών οι διαδικασίες μάθησης των φοιτητών/τριών πρέπει να διερευνηθούν (Duit et al., 2012). Για το πεδίο της NET υπάρχουν παραδείγματα εργασιών στην σχολική εκπαίδευση (Peikos et al., 2022) για τη διερεύνηση διαδικασιών μάθησης. Ωστόσο, στην τριτοβάθμια εκπαίδευση δεν παρουσιάζετε η ίδια παρουσία ερευνών. Αν και υπάρχουν παραδείγματα ερευνών που διερευνούν την διδακτική της NET (Gardner et al., 2010,) σε επίπεδο ενδεικτικών δραστηριοτήτων για την διδασκαλιών ικανοτήτων νανοτεχνολογίας (nanotechnology competencies) δεν παρατηρούνται εργασίες για την διερεύνηση διαδικασιών μάθησης.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην αντιμετώπιση αυτού του βιβλιογραφικού κενού με τη διερεύνηση των διαδικασιών μάθησης προπτυχιακών φοιτητών φυσικών επιστημών για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες των νανοϋλικών μέσω της εφαρμογής ενός διδακτικού πειράματος. Πιο συγκεκριμένα το ερευνητικό μας ερώτημα είναι:

- Ποιες είναι οι διαδικασίες μάθησης που ακολουθούν προπτυχιακοί/ες φοιτητές/τριες φυσικών επιστημών για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες στην νανοκλίμακα;

### **Θεωρητικό Υπόβαθρο**

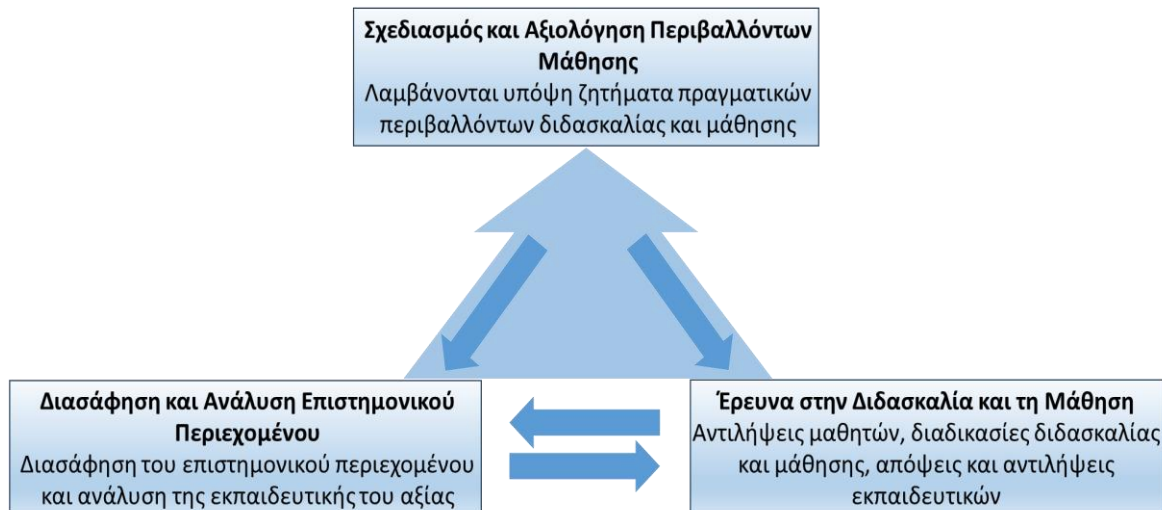
Η μελέτη των διαδικασιών μάθησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το πλαίσιο της εννοιολογικής αλλαγής (Duit & Treagust, 2003). Η ανάλυση της εννοιολογικής αλλαγής επιδέχεται πολλαπλές προσεγγίσεις. Λόγω αυτού στην παρούσα μελέτη, υιοθετείται ο όρος εννοιολογική αναδόμηση (Duit et al., 2012). Ο όρος αυτός υπονοεί ότι οι μαθητές/τριες πρέπει να ανακατασκευάσουν τις προ-διδασκτικές τους ιδέες. Περιλαμβάνει γνωστικές διαδικασίες που μπορούν να γίνουν αντιληπτές ως ριζοσπαστικές (ασυνεχείς) εάν οι ιδέες ανακατασκευάζονται ριζικά, ή αναπτυξιακές (συνεχείς) εάν οι ιδέες τροποποιούνται ή συνδέονται με νέο τρόπο. Συγκεκριμένα, οι Duit et al. (2012) ορίζουν μία διαδικασία μάθησης ως ένα σύνολο στοιχείων διδακτικών μεθόδων που επιτρέπουν στους μαθητές να οδηγηθούν από τις προ-διδασκτικές τους ιδέες προς τις επιστημονικές έννοιες. Άλλες ερευνητικές ομάδες (Paul et al., 2016) έχουν προσεγγίσει τις μαθησιακές διαδικασίες ως μια διαδικασία που περιγράφεται από έναν αριθμό βημάτων μάθησης καθένα από τα οποία περιλαμβάνει έναν συνδυασμό ιδεών. Συνεπώς, στην παρούσα μελέτη μια διαδικασία μάθησης μπορεί να γίνει κατανοητή ως μια διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές/τριες ξεκινούν μια μαθησιακή πορεία ξεκινώντας από τις αρχικές προ-διδασκτικές ιδέες που εξελίσσονται μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων βημάτων μάθησης προς νέες επιστημονικές ιδέες.

### **Μεθοδολογία**

Η παρούσα έρευνα βασίζεται στο Μοντέλο της Διδακτικής Αναδόμησης (Model of Educational Reconstruction) (Duit et al., 2012) (Εικόνα 1). Σε αυτό το πλαίσιο εξετάζεται εάν ένα επιστημονικό αντικείμενο είναι κατάλληλο για διδασκαλία. Το Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης αποτελείται από τρεις αλληλοεπιδρώντες πυλώνες: α. την διασάφηση και ανάλυση επιστημονικού περιεχομένου, β. τις έρευνες στην διδασκαλία και στην μάθηση, και γ. τον σχεδιασμό και αξιολόγηση περιβαλλόντων μάθησης. Ένα θεμελιώδες σημείο σε αυτό το μοντέλο είναι η διερεύνηση των διαδικασιών μάθησης.

Στην έρευνα συμμετείχε ένα σύνολο 22 φοιτητών/τριών (χωρισμένοι σε 11 ομάδες των δύο ατόμων) από τμήματα χημείας, φυσικής και βιολογίας. Όλοι οι συμμετέχοντες/ουσες βρίσκονταν στο έκτο εξάμηνο φοίτησης και είχαν ένα βασικό υπόβαθρο φυσικοχημείας, λόγω των μαθημάτων που είχαν στα αντίστοιχα προγράμματα σπουδών τους. Επίσης, δεν είχαν πρότερη εμπειρία σε ζητήματα νανοτεχνολογίας από τα αντίστοιχα τμήματα τους. Πραγματοποιήθηκε επιλογή φοιτητών από διαφορετικούς τομείς των φυσικών επιστημών, καθώς το πεδίο της NET χαρακτηρίζεται από μία εγγενή διεπιστημονικότητα και συνεπώς όταν μελετάται η εισαγωγή του στην τριτοβάθμια εκπαίδευση πρέπει να ληφθούν υπόψη όλοι οι τομείς των φυσικών επιστημών.

**Εικόνα 1.** Το Μοντέλο της Διδακτικής Αναμόρφωσης



Η διερεύνηση των διαδικασιών μάθησης πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής ενός διδακτικού πειράματος. Το διδακτικό πείραμα αποτελεί μία υβριδική συνέντευξη στην οποία μία κλασική συνέντευξη συνδυάζεται με μία διδακτική ακολουθία στην οποία ο/η ερευνητής/τρια λαμβάνει ένα διπλό ρόλο διδάσκοντα/ουσας και συντονιστή/τριας της συζήτησης (Komorek & Duit, 2004). Το διδακτικό πείραμα της παρούσας εργασίας βασίστηκε σε μία παλαιότερη μαθησιακή ακολουθία που είχε προταθεί από την ερευνητική μας ομάδα (Metaxas et al., 2021). Η διάρκεια του διδακτικού πειράματος ήταν τρεις συναντήσεις (~50 λεπτά διάρκεια η κάθε συνάντηση).

Το διδακτικό πείραμα ξεκινούσε με τους φοιτητές/τριες να διερευνούν έξι δηλώσεις σχετικές με τη NET, ανταλλάσσοντας ελεύθερα τις απόψεις τους. Στη συνέχεια, εξέτασαν ένα πείραμα σχετικά με τη σύνθεση νανοσωματιδίων CdSe, όπου οι μαθητές παρατήρησαν αλλαγές στο χρώμα καθώς αυξάνεται το μέγεθος των σωματιδίων. Για την αναδόμηση εναλλακτικών ιδεών, οι μαθητές διερεύνησαν πώς η συγκέντρωση χρωστικής επηρεάζει την ένταση αλλά όχι την ταυτότητα ενός χρώματος χρησιμοποιώντας διαλύματα KMnO<sub>4</sub>. Στη συνέχεια, διερεύνησαν ένα πείραμα ανίχνευσης DNA με νανοσωματίδια Au/DNA, παρατηρώντας χρωματικές αλλαγές στις οποίες δεν μεταβάλλονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες του υλικού. Οι τελικές δραστηριότητες εισήγαγαν το μοντέλο του κβαντικού εγκλωβισμού χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση ενός ηλεκτρονίου παγιδευμένου σε ένα πηγάδι δυναμικού και μια διερεύνηση, μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου, του τρόπου με τον οποίο το μέγεθος επηρεάζει τις οπτικές ιδιότητες σε διαφορετικές κλίμακες. Το πείραμα ολοκληρώθηκε με τους φοιτητές/τριες να επανεξετάζουν τις αρχικές τους ιδέες με βάση τις παρατηρήσεις τους κατά την διάρκεια των δραστηριοτήτων του διδακτικού πειράματος.

## Ανάλυση

Λόγω του ότι η παρούσα μελέτη είχε διερευνητικό χαρακτήρα, εφαρμόστηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου στις καταγεγραμμένες και αυτολεξεί απομαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις που έλαβαν χώρα καθ' όλη τη διάρκεια του διδακτικού πειράματος (Mayring, 2015). Για την ανάλυση αυτών των δεδομένων, αξιοποιήθηκαν παράλληλα top-down καθώς και bottom-up προσεγγίσεις. Η πρώτη, για τον σχηματισμό ευρύτερων κατηγοριών βάσει τις σχετικής βιβλιογραφίας και η δεύτερη, για την ανάδυση νέων κατηγοριών από τα δεδομένα. Το πρώτο βήμα ανάλυσης που ακολουθήθηκε ήταν ο εντοπισμός των βημάτων μάθησης από τα οποία οι φοιτητές/τριες «περνάν» κατά την διαδικασία μάθησης που ακολουθούν. Όσον αφορά αυτά τα βήματα, τέθηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες: (i) Ανεξαρτησία από το μέγεθος (ii) Υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος, (iii) Εξάρτηση από το μέγεθος χωρίς μηχανισμό, (iv) Εξάρτηση από το μέγεθος λόγω κβαντικού εγκλωβισμού (ΚΕ) στη νανοκλίμακα (Εικόνα 2). Η

πρώτη κατηγορία αφορούσε σχόλια όπου οι παρατηρούμενες αλλαγές χρώματος αποδόθηκαν σε άλλους παράγοντες πέραν του μεγέθους. Η δεύτερη κατηγορία αφορούσε σχόλια όπου οι μεταβολές του χρώματος αποδόθηκαν σε συνδυασμό του μεγέθους και των προαναφερθέντων παραγόντων της προηγούμενης κατηγορίας. Η τρίτη κατηγορία αφορούσε σχόλια στα οποία οι χρωματικές αλλαγές αποδόθηκαν σε αλλαγές στο μέγεθος του νανοϋλικού, αλλά δεν υπήρχε σαφής μηχανισμός για το φαινόμενο αυτό. Η τέταρτη και τελευταία κατηγορία περιελάμβανε σχόλια όπου το χρώμα όχι μόνο παρουσιάστηκε ως πλήρως εξαρτώμενο από το μέγεθος αλλά ο υποκείμενος μηχανισμός ήταν το φαινόμενο του κβαντικού εγκλωβισμού που επιδρά μόνο στη νανοκλίμακα.

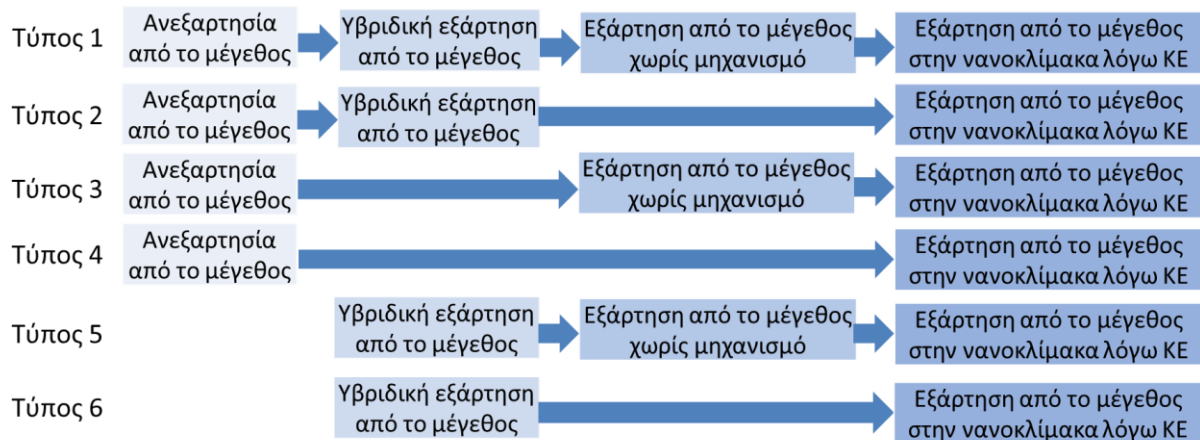
**Εικόνα 2.** Τα βήματα μάθησης των φοιτητών/τριών

Βήμα	Συνδυασμός Εννοιών	
Ανεξαρτησία από το μέγεθος	Χρώμα ως παράγοντας ποσότητας	
	Χρώμα ως παράγοντας αναλογίας ατόμων	
	Χρώμα που οφείλεται σε νέες ουσίες	
	Χρώμα ως παράγοντας θερμοκρασίας	
Υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος	Χρώμα ως παράγοντας μεγέθους	Χρώμα ως παράγοντας ποσότητας
		Χρώμα ως παράγοντας αναλογίας ατόμων
		Χρώμα που οφείλεται σε νέες ουσίες
		Χρώμα ως παράγοντας θερμοκρασίας
Ανεξαρτησία από το μέγεθος	Χρώμα ως παράγοντας ποσότητας	
	Χρώμα ως παράγοντας αναλογίας ατόμων	
	Χρώμα που οφείλεται σε νέες ουσίες	
	Χρώμα ως παράγοντας θερμοκρασίας	
Υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος	Χρώμα ως παράγοντας μεγέθους	Χρώμα ως παράγοντας ποσότητας
		Χρώμα ως παράγοντας αναλογίας ατόμων
		Χρώμα που οφείλεται σε νέες ουσίες
		Χρώμα ως παράγοντας θερμοκρασίας

### Αποτέλεσμα

Εξετάζοντας τα βήματα μάθησης από τα οποία «πέρασε» κάθε φοιτητής/τρια και κατατάσσοντάς τα από το πιο απομακρυσμένο από την επιστημονική γνώση στο πιο επιστημονικά ορθό, παρατηρήθηκαν έξι (6) διαδικασίες μάθησης σε αυτή τη μελέτη. Αυτές οι διαδικασίες ξεκινούν είτε από το βήμα μάθησης Ανεξαρτησία από το μέγεθος είτε από το βήμα Υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος ενώ καταλήγουν στην Εξάρτηση από το μέγεθος λόγω ΚΕ στη νανοκλίμακα (Εικόνα 3). Σε αυτά τις διαδικασίες οι φοιτητές/τριες παρουσιάζουν διαφορετικά ενδιάμεσα βήματα καθώς οι ιδέες τους εξελίσσονται προς την επιστημονική άποψη.

**Εικόνα 3.** Οι διαδικασίες μάθησης που ακολουθήθηκαν από τους/τις φοιτητές/τριες για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες στην νανοκλίμακα



Ακολούθως θα παρουσιαστεί εκάστοτε τύπος διαδικασίας μάθησης αναλυτικά.

#### Τύπος 1

Ο πρώτος τύπος διαδικασίας μάθησης ακολουθήθηκε από τρεις φοιτητές/τριες και παρουσίαζε και τα τέσσερα βήματα που προαναφέρθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, οι φοιτητές/τριες εκκινούν τη διαδικασία μάθησης θεωρώντας το χρώμα πλήρως ανεξάρτητο του μεγέθους. Αυτή η ανεξαρτησία μετατοπίζεται σε μία υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος, όπου η ιδέα του μεγέθους ως παράγοντας της χρωματικής αλλαγής συνδυάζεται με άλλες ιδέες. Ακολουθεί μία ακόμη μετατόπιση, στην οποία οι φοιτητές/τριες υιοθετούν το μέγεθος ως μοναδικό παράγοντα της χρωματικής αλλαγής, απορρίπτοντας τις προηγούμενες ιδέες τους. Αν και σε αυτό το βήμα η εξάρτηση από το μέγεθος είναι πλήρης, δεν υπάρχει αναφορά σε κάποιο μηχανισμό που να την διέπει. Αυτός ο μηχανισμός εμφανίζεται στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας μάθησης, όπου οι φοιτητές/τριες υιοθετούν το μοντέλο του κβαντικού εγκλωβισμού σαν μηχανισμό σύνδεσης του μεγέθους ενός νανούλικού με το χρώμα του. Επίσης, αναγνωρίζουν ότι αυτή η σύνδεση λαμβάνει χώρα μόνο στη νανοκλίμακα.

#### Τύπος 2

Ο δεύτερος τύπος διαδικασίας μάθησης που ακολουθήθηκε από τέσσερις φοιτητές/τριες ξεκινούσε με την ανεξαρτησία από το μέγεθος ως το πρώτο βήμα, ακολουθούμενο από μία μετάβαση στην υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος. Μετά από αυτό το βήμα οι φοιτητές/τριες μεταβαίνουν απευθείας στην εξάρτηση από το μέγεθος λόγω κβαντικού εγκλωβισμού στη νανοκλίμακα, δίχως την εμφάνιση του ενδιάμεσου βήμα της εξάρτησης από το μέγεθος χωρίς μηχανισμό. Τα άτομα που ακολουθούν αυτήν την πορεία μάθησης φαίνεται να μπορούν να μεταβούν από το βήμα της υβριδικής εξάρτησης από το μέγεθος μόνο μετά την εισαγωγή του κβαντικού εγκλωβισμού, και συνεπώς μεταβαίνουν στο βήμα που τον περιλαμβάνει.

#### Τύπος 3

Ο τρίτος τύπος διαδικασίας μάθησης παρατηρήθηκε σε δύο φοιτητές/τριες οι οποίοι/ες ξεκίνησαν από το βήμα της ανεξαρτησίας από το μέγεθος και μετέβησαν στην εξάρτηση από το μέγεθος χωρίς μηχανισμό, δίχως να εμφανίσουν το βήμα της υβριδικής εξάρτησης από το μέγεθος. Αυτή η απουσία της υβριδικής εξάρτησης από το μέγεθος είναι μία ένδειξη ότι η εισαγωγή της ιδέας της σύνδεσης μεγέθους και χρώματος συμβαίνει αφού έχουν υποχωρήσει οι άλλες ιδέες που παρουσίαζαν το χρώμα ως ανεξάρτητο του μεγέθους. Αυτή η διαδικασία μάθησης καταλήγει, όπως και οι προηγούμενες, στην εξάρτηση του χρώματος από το μέγεθος λόγω κβαντικού εγκλωβισμού στη νανοκλίμακα.

#### Τύπος 4

Ο τέταρτος τύπος διαδικασίας μάθησης ακολουθήθηκε από δύο φοιτητές/τριες. Ξεκινούσε από την ανεξαρτησία από το μέγεθος και μετά υπήρχε μία απευθείας μετατόπιση στην εξάρτηση από το μέγεθος λόγω κβαντικού εγκλωβισμού στην νανοκλίμακα. Σε αυτήν τη διαδικασία μάθησης, παρατηρείται μία ριζική αλλαγή στις ιδέες των φοιτητών/τριών όπου η ιδέα ότι το μέγεθος μπορεί να καθορίζει μία χρωματική αλλαγή εκλείπει μέχρι να γίνει η εισαγωγή του μοντέλου του κβαντικού εγκλωβισμού. Συνεπώς, η εξάρτηση από το μέγεθος εισέρχεται σαν ιδέα, εφόσον έχουν υποχωρήσει οι αρχικές τους ιδέες και έχει εισαχθεί ένας πιθανός μηχανισμός που να ερμηνεύει τη σύνδεση μεγέθους-χρώματος.

#### Τύπος 5

Ο πέμπτος τύπος διαδικασίας μάθησης παρατηρήθηκε από επτά φοιτητές/τριες και είχε την υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος ως αρχικό βήμα. Συνεπώς, οι φοιτητές/τριες που ακολούθησαν αυτή τη διαδικασία μάθησης συμπεριλάμβαναν, σε συνδυασμό με άλλες ιδέες, την εξάρτηση από το μέγεθος στις αρχικές τους ιδέες. Αυτό το βήμα ακολουθούταν από μία μετατόπιση στην *εξάρτηση από το μέγεθος χωρίς μηχανισμό*, ενώ κατέληγε στο βήμα *εξάρτηση από το μέγεθος στη νανοκλίμακα* λόγω κβαντικού εγκλωβισμού.

#### Τύπος 6

Ο έκτος τύπος διαδικασίας μάθησης παρουσιάζεται σε τέσσερις φοιτητές/τριες. Ξεκινά από το βήμα της υβριδικής εξάρτησης από το μέγεθος και καταλήγει στην εξάρτηση από το μέγεθος λόγω κβαντικού εγκλωβισμού στην νανοκλίμακα, δίχως να περνά από κάποιο ενδιάμεσο βήμα.

Όσον αφορά τις εννοιολογικές αναδομήσεις που παρατηρήθηκαν σε αυτές τις διαδικασίες μάθησης υπήρξαν περιπτώσεις και συνεχείς και ασυνεχείς εννοιολογικής αναδόμησης. Ανεξάρτητα από το αρχικό στάδιο της μάθησης, οι διαδικασίες μάθησης που παρατηρήθηκαν σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζουν εννοιολογικές αναδομήσεις που μπορεί να είναι είτε συνεχείς είτε ασυνεχείς. Στην περίπτωση των διαδικασιών μάθησης που ξεκινούν με την ανεξαρτησία από το μέγεθος (Τύπος 1 έως 4), ο πρώτος τύπος περιγράφει μια συνεχή εννοιολογική αναδόμηση ενώ οι άλλοι περιγράφουν μια ασυνεχή. Στην περίπτωση του πρώτου, οι αντιλήψεις εξελίσσονται σταδιακά προς την επιστημονική γνώση, ενώ οι τύποι 2 και 3 παρουσιάζουν πιο ριζικές εξελίξεις, με τους/τις φοιτητές/τριες που τους ακολουθούν να «περνάνε» από διαφορετικά ενδιάμεσα στάδια μάθησης. Στον τύπο 2, περνούν από την υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος απευθείας στο τελικό σημείο της διαδρομής χωρίς να «περάσουν» από το στάδιο της εξάρτησης από το μέγεθος χωρίς μηχανισμό. Στον τύπο 3, περνούν απευθείας από την ανεξαρτησία μεγέθους στην εξάρτηση μεγέθους χωρίς μηχανισμό, χωρίς να εμφανίζουν την υβριδική εξάρτηση μεγέθους. Αυτή η διαφοροποίηση των διαδρομών από την άποψη της εννοιολογικής αναδόμησης γίνεται πολύ πιο εμφανής στον τύπο 4, όπου, ενώ έχει τα ίδια σημεία έναρξης και τερματισμού με τον τύπο 1, δεν εμφανίζει κανένα ενδιάμεσο στάδιο μάθησης. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι υπάρχουν δύο λόγοι πίσω από αυτές τις ασυνεχείς εννοιολογικές ανακατασκευές. Ο πρώτος είναι η σημασία ενός μηχανισμού που συνδέει το μέγεθος ενός νανοϋλικού με τις οπτικές του ιδιότητες, όπως είναι εμφανές στους τύπους 2 και 4. Οι μαθητές που υποβάλλονται σε αυτή την εννοιολογική αναδόμηση δεν είναι σε θέση να μετατοπιστούν από τις προ-διδακτικές τους αντιλήψεις εκτός αν παρουσιαστεί ένας συγκεκριμένος μηχανισμός για το υπό μελέτη φαινόμενο. Ο δεύτερος λόγος είναι οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στο να αντιληφθούν το μέγεθος ως δομική ιδιότητα ενός υλικού, όπως φαίνεται στο τύπο 3. Σε αυτή την ανακατασκευή, όλες οι άλλες πιθανές αντιλήψεις σχετικά με τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις οπτικές ιδιότητες ενός υλικού πρέπει πρώτα να ανακατασκευαστούν πριν εισαχθεί η έννοια του μεγέθους. Όσον αφορά τις διαδικασίες μάθησης με την υβριδική εξάρτηση από το μέγεθος ως πρώτο βήμα στη μαθησιακή τους διαδικασία, μπορούν να εξαχθούν παρόμοιες παρατηρήσεις. Στις δύο διαδικασίες μάθησης με αυτό το βήμα ως αφετηρία, ο τύπος 5 παρουσιάζει μια συνεχή εννοιολογική αναδόμηση με τους/τις φοιτητές/τριες να φτάνουν στο τελικό βήμα της εξάρτησης από το μέγεθος λόγω ΚΕ στην νανοκλίμακα, περνώντας από το

ενδιάμεσο βήμα της εξάρτησης από το μέγεθος χωρίς μηχανισμό. Αντίθετα, ο τύπος 6 δεν παρουσιάζει ενδιάμεσα βήματα, παρουσιάζοντας μια ασυνεχή εννοιολογική αναδόμηση. Αυτή η περίπτωση ασυνεχούς εννοιολογικής αναδόμησης αντικατοπτρίζει την περίπτωση των τύπων 2 και 4, όπου η εισαγωγή ενός υποκείμενου μηχανισμού είναι θεμελιώδης για να πραγματοποιηθεί η εννοιολογική ανακατασκευή.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι οι μαθητές ακολουθούν πολλαπλούς τύπους διαδικασιών μάθησης για τις οπτικές ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος σε νανοκλίμακα. Αυτές οι διαδικασίες ξεκινούν είτε από το στάδιο της μάθησης της ανεξαρτησίας από το μέγεθος είτε από το στάδιο της υβριδικής εξάρτησης από το μέγεθος και παρουσιάζουν περιπτώσεις συνεχούς ή ασυνεχούς εννοιολογικής ανακατασκευής.

## Συζήτηση - Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, οι φοιτητές/τριες μπόρεσαν να δημιουργήσουν διαφορετικές διαδικασίες μάθησης καθώς οδηγούνταν προς την επιστημονική γνώση για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες στην νανοκλίμακα με κάποιες από αυτές να παρουσιάζουν συνεχείς εννοιολογικές αλλαγές και κάποιες ασυνεχείς. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρέχουν τα θεμέλια για μια μελλοντική διδακτική ενότητα στην τριτοβάθμια εκπαίδευση σχετικά με τις οπτικές ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος.

## Βιβλιογραφία

- 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*, 13-37. Rotterdam: Sense Publishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2)
- Gardner, G., Jones, G., Taylor, A., Forrester, J. & Robertson, L. (2010) Students' Risk Perceptions of Nanotechnology Applications: Implications for science education, *International Journal of Science Education*, 32(14), 1951-1969 <https://doi.org/10.1080/09500690903331035>
- Komorek M. & Duit R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26, 619-633. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614717>
- Mayring P. (2015) Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures. Στο A. Bikner-Ahsbahr, C. Knipping & N. Presmeg (Επιμ.), *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education*, 365-380. Dordrecht: Springer.
- Metaxas, I., Michailidi, E., Stavrou, D. & Pavlidis, I. V. (2021) Educational reconstruction of size-dependent-properties in nanotechnology for teaching in tertiary education. *Chemistry Teacher International* 3(4), 413-422. <https://doi.org/10.1515/cti-2021-0011>
- O'Connor, C. & Hayden, H. (2008) Contextualising nanotechnology in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 35-42. <https://doi.org/10.1039/b801289j>
- Paul, J., Lederman, N., G. & Groß, J (2016) Learning experimentation through science fairs, *International Journal of Science Education*, 38(15), 2367-2387. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1243272>
- Peikos, G., Spyrtou, A., Pnevmatikos D. & Papadopoulou P. (2022) A teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology content at primary school level: evaluation of students' learning, *International Journal of Science Education*, 44(12), 1932-1957. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2105976>