

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

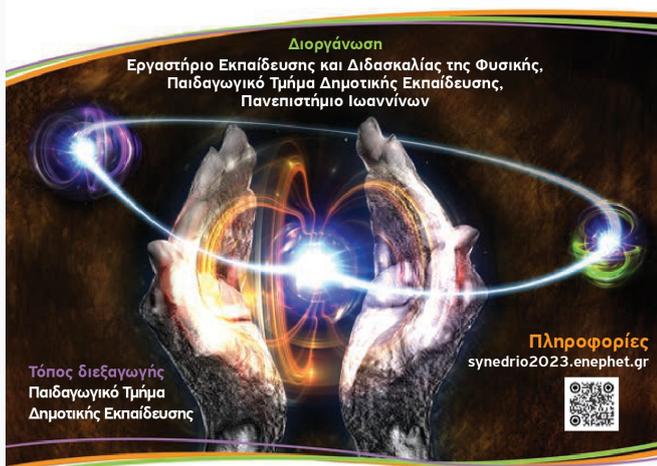
Τόμ. 13 (2024)

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

13<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

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

10 - 12 Νοεμβρίου 2023



## ΠΡΑΚΤΙΚΑ

Επιμέλεια έκδοσης:

Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης, Γεώργιος Στύλος,

Γεωργία Βακάρου, Λεωνίδα Γαβριλάς, Δημήτρης Πανάγου



Ιωάννινα  
10 έως 12 Νοεμβρίου 2023



Εξέλιξη ιδεών φοιτητών για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων

Ιωάννης Μεταξάς, Αιμιλία Μιχαηλίδη, Ιωάννης Παυλίδης, Δημήτρης Σταύρου

doi: [10.12681/codiste.6980](https://doi.org/10.12681/codiste.6980)

## ΕΞΕΛΙΞΗ ΙΔΕΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

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

<sup>1</sup>Υποψύφιος Διδάκτορας Τμήματος Χημείας Παν. Κρήτης, <sup>2</sup>Επίκουρη Καθηγήτρια ΠΤΔΕ Παν. Κρήτης, <sup>3</sup>Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Χημείας Παν. Κρήτης, <sup>4</sup>Καθηγητής ΠΤΔΕ Παν. Κρήτης

[chemp1033@edu.chemistry.uoc.gr](mailto:chemp1033@edu.chemistry.uoc.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Νανοτεχνολογία είναι καινοτόμο επιστημονικό πεδίο με ευρέως εδραιωμένη διδακτική αξία σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Αυτή η εργασία, βασισμένη στις αρχές του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης, αφορά στην εφαρμογή ενός διδακτικού πειράματος σχετικά με τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες των υλικών στη νανοκλίμακα. Σκοπός της εφαρμογής ήταν η αποτύπωση της εξέλιξης των ιδεών φοιτητών/τριών τμημάτων χημείας, φυσικής και βιολογίας κατά την εφαρμογή ενός διδακτικού πειράματος για τις οπτικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων φανέρωσε μία εξέλιξη ιδεών σε δύο στάδια. Το πρώτο ήταν η μετάβαση από ανεξαρτησία μεγέθους των οπτικών ιδιοτήτων σε μερική εξάρτηση. Το δεύτερο ήταν η μετάβαση της μερικής εξάρτησης σε πλήρη εξάρτηση συγκεκριμένα στην νανοκλίμακα.

Λέξεις κλειδιά: Νανοτεχνολογία, Τριτοβάθμια εκπαίδευση, Εξέλιξη ιδεών

## EVOLUTION OF UNDERGRADUATE STUDENTS' IDEAS FOR SIZE DEPENDENT PROPERTIES OF NANOPARTICLES

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

<sup>1</sup>PhD Candidate, University of Crete, <sup>2</sup>Assistant Professor, University of Crete, <sup>3</sup>Assistant Professor, University of Crete, <sup>4</sup>Professor, University of Crete

[chemp1033@edu.chemistry.uoc.gr](mailto:chemp1033@edu.chemistry.uoc.gr)

### ABSTRACT

Nanotechnology is a state of the art scientific field with a well-documented educational value. This study, based on the Model of Educational Reconstruction, describes the implementation of a teaching experiment about the size-dependent optical properties of nanomaterials. This study was aimed at clarifying the evolution of ideas of students from chemistry, physics and biology departments during the implementation of a teaching experiment for size dependent optical properties of nanomaterials. The analysis of the results highlighted a two-step evolution. The first step is the transition from size independency of color to partial size dependency. The second step is the transition from partial size dependency to size-dependency specifically at the nanoscale.

Keywords: Nanotechnology, Tertiary education, Evolution of ideas

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πεδίο της Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας (NET) είναι ένα καινοτόμο πεδίο με κεντρικό στόχο τον χειρισμό της ύλης στη νανοκλίμακα (1-100nm) για την ανάδειξη υλικών με νέες ιδιότητες. Πολλές από αυτές τις ιδιότητες είναι εξαρτώμενες από το μέγεθος της νανοδομής, όπως οι οπτικές ιδιότητες κβαντικών τελειών, οι οποίες αποτελούν νανοσωματίδια, συνήθως ημιαγώγιμα, με διάμετρο μέχρι 10-15nm.

Καθώς υφίσταται ανάγκη για την ύπαρξη μελλοντικών επιστημόνων εξοικειωμένων με το πεδίο της NET έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της αγοράς εργασίας, κρίνεται αναγκαία η εισαγωγή της NET στα προγράμματα σπουδών ιδρυμάτων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Για την εισαγωγή ενός αντικείμενου σε ένα πρόγραμμα σπουδών κάποιες θεμελιώδεις πτυχές του, όπως η διδακτική αξία, οι βασικές έννοιες του επιστημονικού περιεχομένου, οι ιδέες μαθητών/φοιτητών γύρω από τις έννοιες αυτές και η εξέλιξή τους πρέπει να αποσαφηνιστούν (Duit et al., 2012). Όσον αφορά στην NET υπάρχουν παραδείγματα εμπειρικών ερευνών για την εισαγωγή της στην πρωτοβάθμια (Peikos et al., 2022) και στην δευτεροβάθμια (Stavrou et al., 2015) εκπαίδευση. Παρόλα αυτά στην περίπτωση της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης λιγότερες ανάλογες έρευνες μπορούν να εντοπιστούν (Muniz & Oliver Hoyo, 2014).

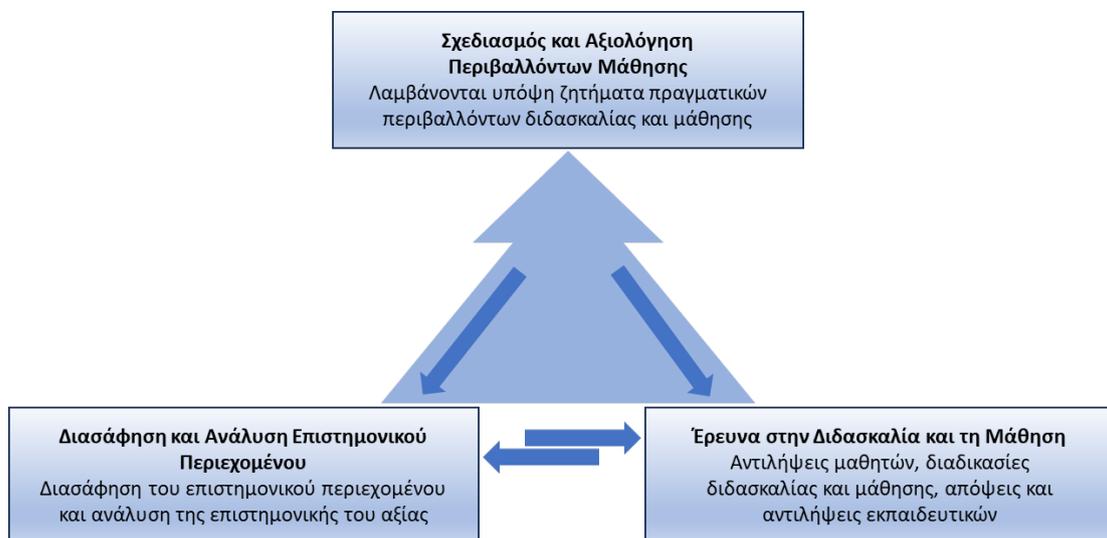
Ο στόχος αυτής της έρευνας είναι η διερεύνηση της εξέλιξης ιδεών φοιτητών/τριών φυσικών επιστημών πάνω στις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες νανοσωματιδίων κατά την εφαρμογή ενός διδακτικού πειράματος. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα έρευνα καθοδηγείται από το παρακάτω ερώτημα:

“Πώς εξελίσσονται οι ιδέες φοιτητών/τριών φυσικών επιστημών για τις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες νανοσωματιδίων προς την επιστημονική γνώση;”

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα έρευνα βασίζεται στο Μοντέλο της Διδακτικής Αναδόμησης (Model of Educational Reconstruction) (Duit et al., 2012) (Σχήμα 1). Σε αυτό το πλαίσιο εξετάζεται εάν ένα επιστημονικό αντικείμενο είναι κατάλληλο για διδασκαλία. Το Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης αποτελείται από τρεις αλληλεπιδρώντες πυλώνες: α. την αποσαφήνιση και ανάλυση επιστημονικού περιεχομένου, β. τις έρευνες στην διδασκαλία και στην μάθηση, και γ. τον σχεδιασμό και αξιολόγηση διδακτικών και μαθησιακών περιβαλλόντων. Η έρευνα της εξέλιξης ιδεών είναι ένα θεμελιώδες σημείο σε αυτό το μοντέλο.

Σχήμα 1. Το Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης (Duit et al., 2012)



Στην έρευνα συμμετείχε ένα σύνολο 26 φοιτητών/τριών (χωρισμένοι σε 13 ομάδες των δύο ατόμων) στο έκτο εξάμηνο των σπουδών τους από τα τμήματα χημείας, φυσικής και βιολογίας. Η εξέλιξη των ιδεών τους διερευνήθηκε μέσω της εφαρμογής ενός διδακτικού πειράματος. Το διδακτικό πείραμα αποτελεί μία υβριδική συνέντευξη στην οποία συνδυάζεται μία κλασική συνέντευξη 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 περιεχόμενο του συγκεκριμένου διδακτικού πειράματος βασίστηκε σε μία παλαιότερη μαθησιακή ακολουθία που είχε προταθεί από την ερευνητική μας ομάδα (Metaxas et al., 2021). Αποτελείτο από τέσσερις συναντήσεις (περίπου 50 λεπτά έκαστη). Στην πρώτη συνάντηση έγινε μία εισαγωγή στο πεδίο της NET και στην μεθοδολογία του διδακτικού πειράματος. Στη δεύτερη συνάντηση έγινε ανάδειξη των ιδεών των φοιτητών/τριών πάνω στους παράγοντες που επηρεάζουν τις οπτικές ιδιότητες ενός νανοϋλικού μέσω μίας δραστηριότητας σύνθεσης νανοσωματιδίων CdSe. Στην τρίτη συνάντηση έγινε εισαγωγή του μοντέλου του κβαντικού εγκλωβισμού ως πιθανού μηχανισμού για την χρωματική αλλαγή νανοσωματιδίων μέσω μίας ηλεκτρονικής προσομοίωσης για τις ενέργειες ενός εγκλωβισμένου ηλεκτρονίου. Στη τελευταία συνάντηση οι φοιτητές/τριες κλήθηκαν να εφαρμόσουν τις ιδέες τους για τις οπτικές ιδιότητες νανοσωματιδίων πάνω σε διάφορες εφαρμογές της NET.

### Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Οι συναντήσεις απομαγνητοφωνήθηκαν κατά λέξη. Λόγω της ποιοτικής φύσης αυτής της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου (Mayring, 2015). Η ανάλυση ξεκίνησε με την εισαγωγή κωδικών στο κείμενο των συνεντεύξεων για την περιγραφή των ιδεών των φοιτητών/τριών έτσι ώστε να μπορεί να αποσαφηνιστεί το πώς αλλάζουν κατά την διάρκεια των συναντήσεων και συνεπώς να αποτυπωθεί η εξέλιξη τους. Όσον αφορά τις κατηγορίες κωδικοποίησης (Πίνακας 1) για αυτές τις ιδέες ήταν οι εξής: (i) *Το χρώμα ως παράγοντας ποσότητας* (ii) *Το χρώμα ως εξαρτώμενη από το μέγεθος ιδιότητα* (iii) *Το χρώμα ως παράγοντας θερμοκρασίας* (iv) *Το χρώμα ως εγγενής ιδιότητα*. Η πρώτη κατηγορία αφορούσε το ότι η ποσότητα ενός νανοϋλικού μπορεί να επηρεάσει το χρώμα του. Η δεύτερη το ότι το μέγεθος είναι ένας παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε χρωματική αλλαγή. Η τρίτη αφορούσε το ότι αλλαγές στην θερμοκρασία (ακόμα και μικρές) μπορούν να οδηγήσουν σε χρωματική αλλαγή.

Πίνακας 1. Κατηγορίες κωδικοποίησης ιδεών φοιτητών/τριων

Κατηγορία	Περιγραφή
Το χρώμα ως παράγοντας ποσότητας	Σχόλια στα οποία η ποσότητα μίας ουσίας μπορεί να επηρεάσει το χρώμα ενός υλικού (συγκέντρωση σε ένα υγρό, διασπορά σε ένα στερεό).
Το χρώμα ως εξαρτώμενη από το μέγεθος ιδιότητα	Σχόλια στα οποία το χρώμα αναγνωρίζεται ως εξαρτώμενο από το μέγεθος.
Το χρώμα ως παράγοντας θερμοκρασίας	Σχόλια στα οποία μία αλλαγή στην θερμοκρασία (έστω και μικρή) μπορεί να οδηγήσει σε χρωματικές αλλαγές. Το χρώμα μπορεί να αλλάξει μέσω απορρόφησης ή εκπομπής ενέργειας
Το χρώμα ως εγγενής ιδιότητα	Οι αλλαγές στο χρώμα οφείλονται σε χημικές αλλαγές (π.χ. είδος δεσμών, οξειδωτικές βαθμίδες)

Πέραν της εξέλιξης των ιδεών, επιχειρήθηκε και ο αποσαφηνισμός των παραγόντων που επηρεάζουν αυτήν την εξέλιξη. Προς εκπλήρωση αυτού του σκοπού λήφθηκαν υπόψη οι ανατροφοδοτήσεις του διδάσκοντα κατά την διάρκεια των συνεντεύξεων καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά των δραστηριοτήτων του

διδακτικού πειράματος. Οι ανατροφοδοτήσεις του διδάσκοντα (Πίνακας 2) χωρίζονταν σε δύο κατηγορίες: (i) Διαφορές χρωματικής ταυτότητας και έντασης, (ii) Θερμοκρασία και ηλεκτρονική διέγερση. Η πρώτη αφορούσε σχόλια τα οποία τόνιζαν την διαφορά μεταξύ της ταυτότητας ενός χρώματος (πχ πράσινο ή κόκκινο) και της έντασης του (σκούρο ή ανοιχτό). Η δεύτερη αφορούσε σχόλια για το ότι μόνο πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε χρωματικές αλλαγές και αυτές οι αλλαγές δεν είναι σταθερές σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

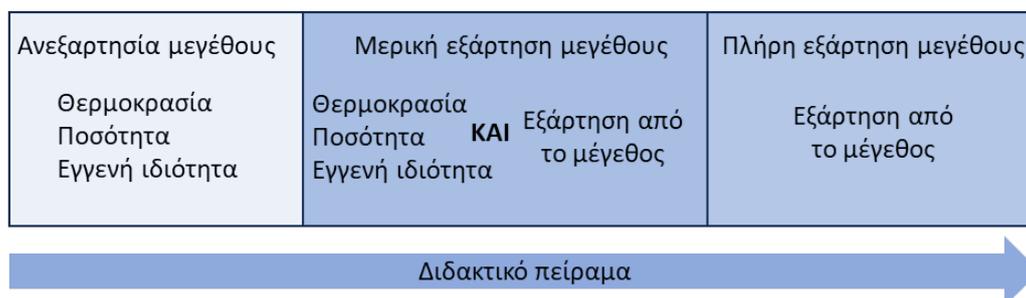
Πίνακας 2. Κατηγορίες ανατροφοδοτήσεων διδάσκοντα

Κατηγορία	Περιγραφή
Διαφορές χρωματικής ταυτότητας και έντασης	Τονίζεται η διαφορά μεταξύ της έντασης της απόχρωσης ενός χρώματος (πόσο σκούρο είναι) και της ταυτότητάς του.
Θερμοκρασία και ηλεκτρονική διέγερση	Ανατροφοδότηση στο ότι μόνο μεγάλες αυξήσεις της θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε χρωματικές αλλαγές και αυτές οι αλλαγές δεν παραμένουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά την εξέλιξη ιδεών οι φοιτητές/τριες φαίνεται να ξεκινούν με ένα συνδυασμό τριών ιδεών για τους παράγοντες που επηρεάζουν τις οπτικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων (ποσότητα, θερμοκρασία και μέγεθος). Σε αυτές τις ιδέες οι φοιτητές/τριες αντιλαμβάνονται τις οπτικές ιδιότητες ενός υλικού ως πλήρως ανεξάρτητες από το μέγεθος των νανοδομών που το αποτελούν. Μέσω δραστηριοτήτων και ανατροφοδοτήσεων που καταδεικνυαν ότι αυτοί οι παράγοντες παρέμεναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των χρωματικών αλλαγών που παρατηρήθηκαν, αρχίζουν να αναγνωρίζουν το μέγεθος ως ένα χαρακτηριστικό της νανοδομής που μπορεί να επηρεάσει τις οπτικές ιδιότητες του υλικού. Αυτή η μεταβολή τους ιδέες των φοιτητές/τριες τους/τις οδηγεί στο να αντιλαμβάνονται αυτές τις ιδιότητες ως μερικώς εξαρτώμενες από το μέγεθος. Η εξέλιξη των ιδεών τους καταλήγει στο τέλος του διδακτικού πειράματος να είναι η πλήρης εξάρτηση από το μέγεθος των οπτικών ιδιοτήτων στην νανοκλίμακα (Σχήμα 2).

Σχήμα 2. Εξέλιξη των ιδεών των φοιτητών/τριών κατά την διάρκεια του διδακτικού πειράματος.



Όσον αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη των ιδεών κρίσιμης σημασίας ήταν η υποχώρηση των εναλλακτικών ιδεών των φοιτητών/τριών (θερμοκρασία, ποσότητα, χρώμα ως εγγενή ιδιότητα). Οι φοιτητές/τριες αρχίζουν να αμφισβητούν αυτές τις ιδέες μέσω δραστηριοτήτων και ανατροφοδοτήσεων.

Η ιδέα της σύνδεσης θερμοκρασίας - χρώματος αμφισβητήθηκε στην αρχή της δραστηριότητας της σύνθεσης CdSe, μέσω μίας ανατροφοδότησης πάνω στο ότι μόνο σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να αλλάξει το

χρώμα ενός υλικού και αυτές οι αλλαγές δε διατηρούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (Θερμοκρασία και ηλεκτρονική διέγερση).

Η ιδέα ότι το χρώμα είναι εξαρτώμενο από την ποσότητα αμφισβητήθηκε από τους/τις φοιτητές/τριες όταν η δραστηριότητα που διερευνούσε την σχέση ποσότητας και χρώματος συνδυάστηκε με μία ανατροφοδότηση από τον ερευνητή. Σε αυτή την ανατροφοδότηση αποσαφηνίστηκε ότι η ένταση ενός χρώματος (αν είναι σκούρο ή όχι) είναι διαφορετική από την ταυτότητα του (αν είναι κίτρινο ή κόκκινο) (Διαφορές έντασης και ταυτότητας χρώματος).

Η ιδέα ότι το χρώμα είναι μία εγγενής ιδιότητα του υλικού διερευνήθηκε μέσω του συνδυασμού δύο δραστηριοτήτων στις οποίες παρουσιάζονται χρωματικές αλλαγές, όπου οι φυσικοχημικές ιδιότητες του υπό εξέταση υλικού (π.χ. νανοσωματίδια CdSe) παραμένουν σταθερές. Αυτό το γεγονός τονίστηκε και από τον ερευνητή, μέσω μίας ανατροφοδότησης του, για το ότι αυτές οι ιδιότητες παραμένουν σταθερές (Φυσικοχημικές ιδιότητες).

Όσον αφορά την εισαγωγή της ιδέας του μεγέθους αυτή εισάγεται μέσω της δραστηριότητας σύνθεσης CdSe. Πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η νέα ιδέα συνοδεύει άλλες εναλλακτικές ιδέες (πχ. το χρώμα ως εγγενή ιδιότητα, τον ρόλο της ποσότητας στο χρώμα), δεν τις αντικαθιστά.

Η ιδέα της εξάρτησης από το μέγεθος ενισχύεται μέσω της εισαγωγής του μοντέλου του κβαντικού εγκλωβισμού καθώς και δραστηριοτήτων που καταδεικνύουν ότι μία τέτοια εξάρτηση λαμβάνει χώρα μόνο στην νανοκλίμακα. Μέσω αυτών οι φοιτητές/τριες καταλήγουν στην πλήρη εξάρτηση των οπτικών ιδιοτήτων στην νανοκλίμακα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει των αποτελεσμάτων, η εξέλιξη των ιδεών των φοιτητών/τριών περιλαμβάνει δύο στάδια και μπόρεσε να πραγματοποιηθεί μέσω ενός συνδυασμού ανατροφοδοτήσεων και δραστηριοτήτων. Το πρώτο στάδιο συμβαίνει όταν οι φοιτητές/τριες σταματούν να θεωρούν τις οπτικές ιδιότητες ως ανεξάρτητες από το μέγεθος του νανοϋλικού αλλά ενστερνίζονται ότι αυτές οι ιδιότητες έχουν μερική εξάρτηση από το μέγεθος. Το δεύτερο βήμα είναι η μετάβαση από αυτήν την μερική εξάρτηση σε πλήρη εξάρτηση από το μέγεθος και συγκεκριμένα στη νανοκλίμακα. Για την ενίσχυση αυτής της σχέσης μεγέθους-χρώματος ήταν σημαντική η εισαγωγή του κβαντικού εγκλωβισμού μέσω της ηλεκτρονικής προσομοίωσης. Η χρήση τέτοιων εργαλείων για την επιτυχή διδασκαλία κβαντικών φαινομένων έχει αναδειχτεί και σε παλιότερες έρευνες (Stevens, Delgado & Krajcik 2010). Επίσης σημαντική για αυτήν την εξέλιξη ιδεών στο σύνολο της ήταν η επιλογή εξαρτώμενων από το μέγεθος οπτικών ιδιοτήτων καθώς αποτέλεσε ένα εξαιρετικό πλαίσιο μέσω του οποίου οι φοιτητές μπορούσαν να συνδέσουν μία κοινή, για αυτούς, ιδιότητα (χρώμα) η οποία καθοριζόταν από κβαντικούς μηχανισμούς εγγενείς στην νανοκλίμακα (εξάρτηση από το μέγεθος) (Stevens, Delgado & Krajcik 2010).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012) The model of educational reconstruction – A framework for improving teaching and learning science. *In Science Education Research and Practice in Europe*, (pp. 13-37). Rotterdam: Sense Publishers.
- 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., Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures. In A. Bikner-Ahsbahr, C. Knipping & N. Presmeg (Eds.), *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education*. 2015 (pp. 365-380), Dordrecht: Springer.
- Metaxas, I., Michailidi, E., Stavrou, D. & Pavlidis, I. V. (2021). Educational reconstruction of size-depended-properties in nanotechnology for teaching in tertiary education *Chemistry Teacher International*, 3(4), 413-422. <https://doi.org/10.1515/cti-2021-0011>
- Muniz, M., N. & Oliver-Hoyo, M., T. (2014). Investigating Quantum Mechanical Tunneling at the Nanoscale via Analogy: Development and Assessment of a Teaching Tool for Upper-Division Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91, 1546-1556. <https://doi.org/10.1021/ed400761q>
- 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>
- Stavrou, D., Michailidi, E., Sgouros, G., & Dimitriadi, K. (2015). Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(4), 501–511. <https://doi.org/10.31129/lumat.v3i4.1019>
- Stevens, S., Y., Delgado, C. & Krajcik, J., S. (2010) Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715. <https://doi.org/10.1002/tea.20324>