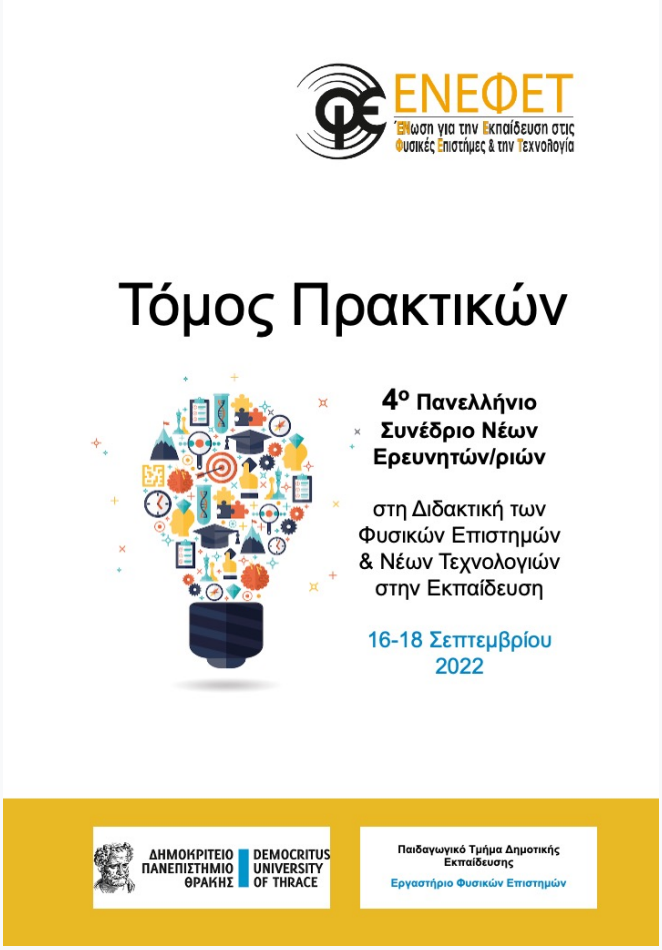
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Πανελλήνιο Συνέδριο Νέων Ερευνητών/τριών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

(2024)

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Νέων Ερευνητών και Ερευνητριών



Ιδέες και διαδικασίες μάθησης Φοιτητών Τμημάτων Φυσικής και Χημείας πάνω στις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες υλικών στην νανοκλίμακα

Ιωάννης Μεταξάς, Δημήτριος Σταύρου, Ιωάννης Παυλίδης

doi: 10.12681/nrcodiste.5952

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 28/02/2026 07:26:17

Ιδέες και Διαδικασίες Μάθησης Φοιτητών Τμημάτων Φυσικής και Χημείας πάνω στις Εξαρτώμενες από το Μέγεθος Οπτικές Ιδιότητες Υλικών στη Νανοκλίμακα

Ιωάννης Μεταξάς[1], Δημήτριος Σταύρου[2], Ιωάννης Παυλίδης[3]
[1]Υποψήφιος διδάκτορας, [2]Καθηγητής, [3]Επίκουρος Καθηγητής
[1,3]Τμήμα Χημείας, [2]Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Το καινοτόμο πεδίο της Νανοτεχνολογίας έχει ευρέως καταγεγραμμένη διδακτική αξία σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης. Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζεται η εφαρμογή μιας διδακτικής ακολουθίας, δομημένη με βάση τις αρχές του Μοντέλου της Διδακτικής Αναδόμησης. Υλοποιήθηκε με τη μέθοδο του Διδακτικού Πειράματος σχετικά με τις εξαρτώμενες από το μέγεθος ιδιότητες στην νανοκλίμακα, με σκοπό τη διερεύνηση ιδεών και διαδικασιών μάθησης φοιτητών/τριών τμημάτων χημείας και φυσικής. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σειρά αρχικών εναλλακτικών ιδεών καθώς και μία πιθανή διαδικασία υπέρβασης τους μέσω της εισαγωγής της έννοιας του κβαντικού εγκλωβισμού.

Abstract

The state-of-the-art field of Nanotechnology has a well-documented educational value. Herein a novel teaching sequence is implemented based on Model of Educational Reconstruction regarding size-dependent properties at the nanoscale with the goal to identify the chemistry and physics undergraduate students' ideas and learning process. This sequence was constructed as a Teaching Experiment and yielded a series of initial alternative ideas as well as a possible learning process for overcoming them through the introduction of quantum confinement.

Λέξεις κλειδιά: νανοτεχνολογία, πανεπιστημιακή εκπαίδευση, μοντέλο διδακτικής αναδόμησης, διαδικασίες μάθησης

Key words: nanotechnology, university education, model of educational reconstruction, learning processes

1. Εισαγωγή

Το πεδίο της Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας (NET) είναι ένα καινοτόμο και διεπιστημονικό πεδίο. Οι μελέτες στη NET αποσκοπούν στην χειραγώγηση της ύλης στη νανοκλίμακα (τυπικά 1 με 100 nm) με σκοπό την ανάδειξη νέων μακροσκοπικών ιδιοτήτων (π.χ. βιολογικές, οπτικές ή μηχανικές) (Bhushan et al., 2014). Από αυτές πολλές είναι «εξαρτώμενες από το μέγεθος», δηλαδή οι μακροσκοπικές ιδιότητες ενός υλικού εξαρτώνται από το μέγεθος των νανοδομών που το αποτελούν (Biju et al., 2008). Στη βιβλιογραφία είναι διαδεδομένη η διδακτική αξία του νανο-γραμματισμού (π.χ. Stevens et al., 2009) και πολλά εκπαιδευτικά προγράμματα με θεμέλια στη NET έχουν ήδη εφαρμοστεί (π.χ. Jackman et al., 2020). Τα θεμελιώδη επιχειρήματα υπέρ της εισαγωγής της NET στην εκπαίδευση συνοψίζονται στη διεπιστημονικότητα της (Hingrant & Albe, 2010) και στην εξοικείωση των μαθητών/τριών με μία καινοφανή έννοια της φύσης της επιστήμης (Schank et al., 2009). Επιπροσθέτως, η NET ως επιστημονικό πεδίο αποτελεί ένα κατάλληλο πλαίσιο για να επιτρέψει στους/στις μαθητές/τριες να αυξήσουν την κατανόησή τους σε θεμελιώδεις επιστημονικές έννοιες, όπως οι σχέσεις «δομής-ιδιοτήτων» και την υποβόσκουσα αρχή της ότι η δομή και σύσταση των νανοδομών που αποτελούν ένα υλικό, καθορίζουν τις

μακροσκοπικές τους φυσικοχημικές ιδιότητες (Talanquer, 2018). Επίσης, οι ερευνητές/τριες της διδακτικής της ΝΕΤ τονίζουν την αναδυόμενη ανάγκη ύπαρξης μελλοντικών επιστημόνων, οι οποίοι θα είναι εξοικειωμένοι με το εν λόγω πεδίο και θα μπορούν να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες της αγοράς εργασίας (Healy, 2009). Παρόλα αυτά, πρέπει να τονιστεί, ότι η πλειοψηφία των παραπάνω μελετών αφορούν μαθητές/τριες πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, αν και η αξία της συμπερίληψης της ΝΕΤ και των εξαρτώμενων από το μέγεθος ιδιοτήτων στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση είναι εξίσου σημαντική, καθώς πολλές αποφάσεις που αφορούν την καριέρα και την εξέλιξή τους, οι φοιτητές/τριες τις παίρνουν κατά την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών τους.

Η διαφορά, μεταξύ της συμπερίληψης των παραπάνω στη σχολική εκπαίδευση σε σχέση με την πανεπιστημιακή, επεκτείνεται πέρα του πλήθους τους αλλά και του περιεχομένου τους. Στην σχολική εκπαίδευση υπάρχει, στην πλειοψηφία των ερευνών, μία θεμελίωση σε κάποιο θεωρητικό πλαίσιο και το φυσικοχημικό τους περιεχόμενο είναι διδακτικά αναδομημένο (π.χ. Sakhnini & Blonder, 2015). Εν αντιθέσει, στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση οι έρευνες κυρίως αποτελούνται από πειραματικά πρωτόκολλα στα οποία το φυσικοχημικό περιεχόμενο παρουσιάζεται ως έχειν (π.χ. Jenkins et al., 2016), με ένα μόνο μικρό αριθμό δημοσιεύσεων να θεμελιώνεται σε κάποιο ξεκάθαρο διδακτικό πλαίσιο (π.χ. Wansom et al., 2009).

Για να μπορέσει να θεμελιωθεί μία τέτοια ενότητα στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση, είτε ως μία διδακτική ακολουθία (teaching learning sequence) (Mèheut & Psillos, 2004), είτε ως μία μαθησιακή πρόοδος (learning progression) (Duschl et al., 2011), δεν πρέπει μόνο να αποσαφηνιστεί η διδακτική αξία του περιεχομένου της, αλλά και οι διαδικασίες μάθησης που ακολουθούν οι φοιτητές/τριες σε μία τέτοια ενότητα (Duschl et al., 2011˙ Mèheut & Psillos, 2004). Όπως και στην περίπτωση των ενοτήτων της ΝΕΤ, έτσι και στις διαδικασίες μάθησης υπάρχει μία διχογνωμία στη βιβλιογραφία όσον αφορά τη σχολική και την πανεπιστημιακή εκπαίδευση. Στη σχολική εκπαίδευση υπάρχουν παραδείγματα αποσαφήνισης διαδικασιών μάθησης (π.χ. Stevens et al., 2010) ενώ στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση δεν υπάρχουν εν γνώση μας έρευνες που να απευθύνονται σε αυτές τις διαδικασίες. Συνεπώς η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

"Ποιες είναι οι ιδέες των φοιτητών/τριών πάνω στις εξαρτώμενες από το μέγεθος οπτικές ιδιότητες στη νανοκλίμακα;"

"Ποιες είναι οι διαδικασίες μάθησης των φοιτητών/τριών πάνω στην επίδραση του μεγέθους στις οπτικές ιδιότητες ενός νανοϋλικού;"

Θεωρητικό πλαίσιο

Το θεωρητικό μεθοδολογικό πλαίσιο της παρούσας πρότασης είναι το Μοντέλο της Διδακτικής Αναδόμησης (ΜΔΑ, Model of Educational Reconstruction) (Duit et al., 2012). Είναι ένα θεωρητικό εργαλείο, που εξετάζει εάν και κατά πόσο είναι δυνατόν να διδαχθεί μια συγκεκριμένη έννοια, ή ιδέα των φυσικών επιστημών. Πιο αναλυτικά, το μοντέλο αυτό δίνει βαρύτητα όχι μόνο στο επιστημονικό περιεχόμενο της έννοιας, αλλά και στις αντιλήψεις και στις διαδικασίες μάθησης των φοιτητών/τριών. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάλυση και διασαφήνιση του επιστημονικού περιεχομένου (elementarization), λαμβάνοντας υπόψη τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις, τα ενδιαφέροντα και τις διαδικασίες μάθησης των φοιτητών/τριών. Στη συνέχεια, με βάση αυτά τα στοιχεία, σχεδιάζεται το περιεχόμενο διδασκαλίας. Τα τρία αυτά στοιχεία του μοντέλου δεν είναι αυτόνομα, αλλά αλληλοεπιδρούν στενά μεταξύ τους.

2. Μεθοδολογία

Ερευνητικός σχεδιασμός/ Μεθοδολογία υλοποίησης

Η μεθοδολογία υλοποίησης της έρευνας ήταν το διδακτικό πείραμα, όπως αναπτύχθηκε από τους Komorek και Duit (2004). Το διδακτικό πείραμα ουσιαστικά αποτελεί μια τεχνική συνέντευξης, στην οποία ο/η ερευνητής/τρια λαμβάνει αφενός ρόλο συντονιστή,

προσπαθώντας να αναδείξει και να καταλάβει τις ιδέες των μαθητευόμενων, αφετέρου ρόλο διδάσκοντα, που προσπαθεί να προσαρμοστεί στις ιδέες των μαθητευόμενων και να κάνει κατάλληλες διδακτικές παρεμβάσεις. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας επιλέχθηκαν φοιτητές/τριες Τμημάτων Χημείας και Φυσικής που βρίσκονταν στο τέταρτο έτος του πρώτου κύκλου σπουδών τους. Το περιεχόμενο του διδακτικού πειράματος βασιζόταν σε μία παλαιότερη διδακτική ακολουθία που είχε προταθεί από την ομάδα μας (Metaxas et al., 2021).

Συλλογή & ανάλυση δεδομένων

Λόγω της διερευνητικής φύσης αυτής της έρευνας θα χρησιμοποιηθούν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου (Mayring, 2015). Η ανάλυση των δεδομένων θα ξεκινήσει με την κατά λέξη απομαγνητοφώνηση των συνεντεύξεων όλων των ομάδων. Αρχικά καταγράφηκαν οι ιδέες των φοιτητών/τριών πριν και μετά τις δραστηριότητες σε μορφή διαγραμμάτων ροής έτσι ώστε να φανερωθούν τα γνωστικά εμπόδια που συναντούν κατά την νοητική πορεία τους προς την επιστημονική γνώση. Επίσης καταγράφτηκαν οι παραβάσεις του διδάσκοντα καθώς αποτελούν ένα παράγοντα που μπορεί να συνέφερε στην αλλαγή των ιδεών των φοιτητών μαζί με τις δραστηριότητες του διδακτικού πειράματος. Συνεπώς αποσαφηνίστηκαν οι δραστηριότητες καθώς και οι παρεμβάσεις του διδάσκοντα που βοηθούν τους/τις φοιτητές/τριες να ξεπεράσουν τα προαναφερθέντα εμπόδια έτσι ώστε να αναγνωριστούν οι διαδικασίες μάθησης που ακολουθούνται από τους/τις φοιτητές/τριες κατά την πορεία τους προς την επιστημονική γνώση.

3. Αποτελέσματα

Στην πιλοτική εφαρμογή οι φοιτητές/τριες φαίνεται αρχικά να εκδηλώνουν δύο βασικές ιδέες εναλλακτικές ιδέες. Οι φοιτητές/τριες αντιλαμβάνονται το χρώμα ενός νανοϋλικού σαν μία εγγενή ιδιότητα του η οποία μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες ποσότητας, όπως η συγκέντρωση σε ένα διάλυμα ή διασπορά σε ένα στερεό υλικό. Αυτές οι ιδέες εξελίσσονται κατά την διάρκεια του διδακτικού πειράματος ώστε να συμπεριλαμβάνουν και τον παράγοντα του μεγέθους του υλικού. Τέλος μέσω της εισαγωγής του φαινομένου του κβαντικού εγκλωβισμού οι φοιτητές/τριες αποδέχτηκαν την εξάρτηση από το μέγεθος σαν μοναδικό παράγοντα που οδηγεί σε αλλαγές στις οπτικές ιδιότητες ενός νανοϋλικού.

Αυτή η εξέλιξη ιδεών υποβοηθείται από συγκεκριμένες παρεμβάσεις του διδάσκοντα. Ένα παράδειγμα τέτοιων παρεμβάσεων είναι σχόλια όπως η αποσαφήνιση από τον διδάσκοντα ότι η ένταση ενός χρώματος (το πόσο πολύ απορροφά ένα υλικό) είναι διαφορετικό από την ταυτότητα του (το μήκος κύματος στο οποίο απορροφά το υλικό). Παρόλα αυτά φαίνεται μαζί με αυτή την σύνδεση να υπάρχει η ανάδειξη υβριδικών μοντέλων (μέγεθος και φαινόμενο συντονισμού, μέγεθος και παγίδευση φωτός εντός του σωματιδίου, μέγεθος και ενεργή επιφάνεια) για την επεξήγηση του μηχανισμού που εξηγεί αυτή την εξάρτηση.

4. Συμπεράσματα

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του διδακτικού πειράματος έχει φανερώσει ένα αριθμό αρχικών ιδεών από τους/τριες φοιτητές/τριες οι οποίες εξελίσσονται μέσω ενός συνδυασμού δραστηριοτήτων και ανατροφοδοτήσεων από τον ερευνητή/τρια. Η εξέλιξη αυτή είναι εποικοδομητική, χάρης όχι μόνο των δραστηριοτήτων του διδακτικού πειράματος αλλά και των παρεμβάσεων του διδάσκοντα, με τους φοιτητές/τριες να οδηγούνται στην σύνδεση των οπτικών ιδιοτήτων ενός νανοϋλικού με το μέγεθος του. Παρόλα αυτά φαίνεται μαζί με αυτή την σύνδεση να υπάρχει η ανάδειξη υβριδικών μοντέλων για την επεξήγηση του μηχανισμού που εξηγεί αυτή την σύνδεση. Αυτό αποτελεί ένα ζήτημα το οποίο απαιτεί περαιτέρω ανάλυση. Τέλος βάση αυτής της πιλοτικής εφαρμογής οι εποικοδομητικοί συνδυασμοί δραστηριοτήτων και παρεμβάσεων μπορούν να αναγνωριστούν και να δράσουν ως θεμέλιο για ένα νέο διδακτικό πείραμα στο οποίο η εισαγωγή του κβαντικού εγκλωβισμού δεν θα οδηγεί σε υβριδικά μοντέλα ερμηνείας των εξαρτώμενων από το μέγεθος οπτικών ιδιοτήτων νανοϋλικών.

5. Βιβλιογραφία

Bhushan, B., Luo, D., Schricker, S. R., Sigmund, W. & Zauscher, S. (2014) *Handbook of Nanomaterials*, Berlin Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-642-31107-9

Biju, V., Itoh, T., Anas, A., Sujith, A., & Ishikawa, M. (2008). Semiconductor quantum dots and metal nanoparticles: Syntheses, optical properties, and biological applications. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391, 2469–2495. https://doi.org/10.1007/s00216-008-2185-7

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. Cultural Perpectives in Science Education, vol 5* (σ. 13-37). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2

Duschl, R., Maeng, S. & Sezen, A. (2011) Learning progression and teaching sequences: a review and analysis, *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182. https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476

Healy, N. (2009) Why nano education? *Journal of Nano Education*, *1*(1), 6-7 https://doi.org/10.1166/jne.2009.004

Hingant, B. & Albe, V. (2010). Nanoscience and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: a review of literature, *Studies in Science Education*, *46*(2), 121-152. https://doi.org/10.1080/03057267.2010.504543

Jackman, J. A., Cho, D.-J., Jackman, J. S., Sweeney, A. E., & Cho, N.-J. (2020). Training leaders in nanotechnology. Στο K. D. Sattler (Επιμ.), *21st Century nanoscience – A handbook: Public policy, education, and global trends* (σ. 5.1–5.12). Boca Raton: CRC Press. ISBN: 9780429351631

Jenkins, J., Wax, T. J., & Zhao, J. (2017). Seed-mediated synthesis of gold nanoparticles of controlled sizes to demonstrate the impact of size on optical properties, *Journal of Chemical Education*, *94*(8), 1090-1093. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00941

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/10.1080/0950069031000161471 7

Mayring P., (2015). Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures. Στο A. Bikner-Ahsbahs, C. Knipping & N. Presmeg (Επιμ.), *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education* (σ. 365-380), Dordrecht: Springer. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173

Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, *26*(5), 515–535. https://doi.org/10.1080/09500690310001614762

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

Sakhnini, S. & Blonder, R. (2015) Essential concepts of nanoscale science and technology for high school students based on a Delphi study by the expert community. *International Journal of Science*, *37*(11), 1699-1738. https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1035687

Schank, P., Wise, A., Stanford, T., & Rosenquist, A. (2009). *Can high school students learn nanoscience? An evaluation of the viability and impact of the NanoSense curriculum* [Technical Report]. California, US: SRI International.

Stevens, S. Y., Delgado, D., 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

Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering: A guidebook for secondary teachers*. Virginia (USA): National Science Teachers Association. ISBN: 978-1935155072

Talanquer, V. (2018) Progression in reasoning about structure-property relationships. *Chemistry Education Research and Practice, 19,* 998-1009. https://doi.org/10.1039/C7RP00187H

Wansom, S., Mason, T. O., Hersam, M. C., Drane, D., Light, G., Cormia, R., Stevens, S., Bodner, G. A. (2009). Rubric for Post-Secondary Degree Programs in Nanoscience and Nanotechnology. *International Journal of Engineering Education, 25*(3), 615– 627. Ανακτήθηκε από: https://chemed.chem.purdue.edu/chemed/bodnergroup/PDF_2008/99%20Mason%20Int%20J%20Engr%20Educ.pdf