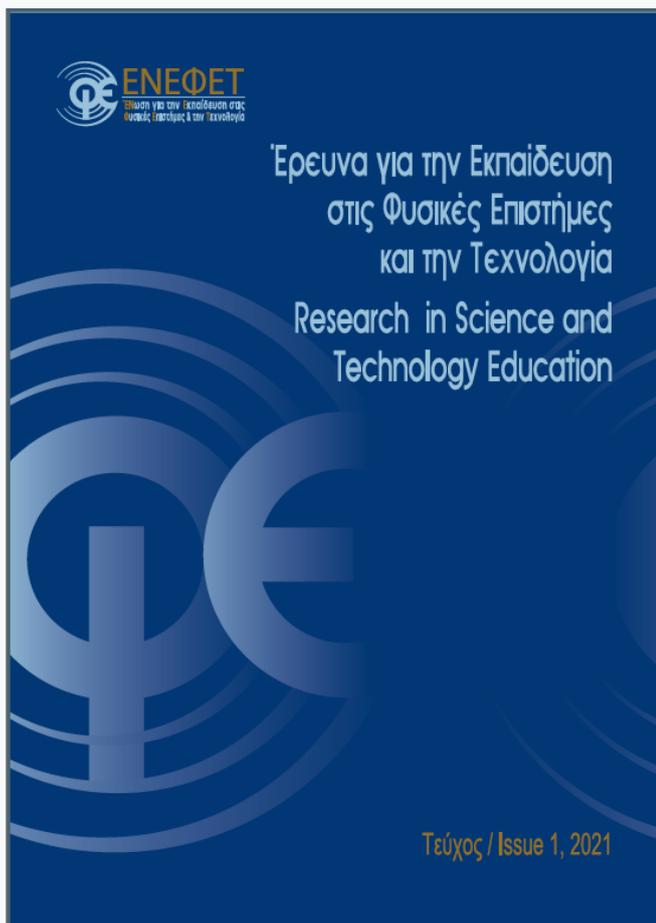


## Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία

Τόμ. 1, Αρ. 1 (2021)

Ειδικό Τεύχος



### Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Ψηφιακές Τεχνολογίες: Όψεις και Μετασχηματισμοί

Δημήτρης Ψύλλος

doi: [10.12681/riste.27276](https://doi.org/10.12681/riste.27276)

#### Βιβλιογραφική αναφορά:

Ψύλλος Δ. (2021). Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Ψηφιακές Τεχνολογίες: Όψεις και Μετασχηματισμοί. *Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία*, 1(1), 191-212.  
<https://doi.org/10.12681/riste.27276>

# Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Ψηφιακές Τεχνολογίες: Όψεις και Μετασχηματισμοί

Δημήτρης Ψύλλος

αφ. Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
*psillos@eled.auth.gr*

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, υποστηρίζουμε ότι η παιδαγωγική αξιοποίηση και ένταξη των ψηφιακών τεχνολογιών μπορεί να συντελέσει, σε κατάλληλες συνθήκες, στη βελτίωση ακόμα και στον δραστικό μετασχηματισμό της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες. Για τον σκοπό αυτό, εξετάζουμε τις παροχές και την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών, σε συνάρτηση με τις σύγχρονες έρευνες, τις διδακτικές προσεγγίσεις και τις θεωρίες στην περιοχή της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Αναλύεται και συζητείται η δημιουργική χρήση τους στη διδασκαλία και μάθηση των επιστημονικών εννοιών, των μεθόδων και της φύσης της επιστήμης. Η ένταξη των ψηφιακών τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα υποστήριξης διδακτικών μετασχηματισμών του γνωστικού αντικειμένου, εργαστηριακής εργασίας και στρατηγικών μοντελοποίησης. Οι Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες είναι ένα κατάλληλο πλαίσιο έρευνας και ανάπτυξης, για την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών συνδυασμό με τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

**Λέξεις κλειδιά:** Διερεύνηση, Διδακτικός Μετασχηματισμός, Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες, Εικονικά Εργαστήρια, Μοντελοποίηση.

## Abstract

In the present work we argue that the pedagogical use and integration of technology can, under appropriated conditions, contribute to the improvement and even the radical transformation of Science Education. For this purpose, we examine the affordances and pedagogical use of digital technologies in the context of contemporary research, didactical approaches and theoretical perspectives in the area of Didactics of Science (Science Education). We analyze and discuss their creative use in teaching and learning scientific concepts, the methods and nature of science. The integration of digital technologies potentially supports didactical transformations of scientific conceptual knowledge, laboratory work and modeling. Teaching Learning Sequences provide for an



appropriate research and development framework for the pedagogical use of digital technologies in combination with finding and proposal from Didactics of Science.

**Key words:** Inquiry, Didactical Transformation, Teaching Learning Sequences, Virtual Laboratories, Modeling

## Εισαγωγή

Ερευνητές στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ), εκπαιδευτικοί, συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων, διαμορφωτές εκπαιδευτικής πολιτικής, σε πολλές χώρες υποστηρίζουν ότι η εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες πρέπει να είναι πολυδιάστατη, να προωθεί την παράλληλη ανάπτυξη εννοιολογικής, διαδικαστικής, επιστημολογικής γνώσης, τις αξίες και τον κοινωνικό ρόλο της επιστήμης στις σύγχρονες κοινωνίες. Όμως, πολλοί μελετητές υποστηρίζουν ότι στις Ευρωπαϊκές χώρες η ποιότητα της εκπαίδευσης στις ΦΕ δεν ανταποκρίνεται στις κοινωνικές προσδοκίες και τις ανάγκες επιστημονικού γραμματισμού των πολιτών. Σε έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχε διαπιστωθεί ότι υπάρχουν προβλήματα τόσο στη φύση όσο και στη δομή των προσπαθειών που γίνονταν για τη βελτίωση της εκπαίδευσης στις ΦΕ και την προώθηση του επιστημονικού εγγραμματισμού στους πολίτες των Ευρωπαϊκών χωρών (Osborne & Dillon, 2008; Rocard, 2007). Η υποχρηματοδότηση της δημόσιας εκπαίδευσης και οι ελλείψεις υποδομές στα σχολεία, ειδικά στην χώρα μας, το υποβαθμισμένο κοινωνικο-οικονομικό περιβάλλον σε πολλές περιοχές και οι εκπαιδευτικές ανισότητες, η υπερφόρτωση των αναλυτικών προγραμμάτων, η έλλειψη εκπαιδευτικών και οι συντηρητικές εκπαιδευτικές πολιτικές δεν συμβάλλουν στην ποιοτική βελτίωση της εκπαίδευσης στις ΦΕ. Αρνητικά επίσης επιδρά η περιορισμένη διάδοση και παιδαγωγική αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών (Anastasiades & Zaranis, 2016).

Στην παρούσα εργασία, υποστηρίζουμε ότι η παιδαγωγική αξιοποίηση και ένταξη των τεχνολογιών μπορεί να συντελέσει, σε κατάλληλες συνθήκες, στη βελτίωση και τον δραστικό μετασχηματισμό της εκπαίδευσης στις ΦΕ. Για τον σκοπό αυτό εξετάζουμε επιλεκτικά, λόγω περιορισμένου χώρου, τις παροχές και την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών σε συνάρτηση με τις σύγχρονες έρευνες, τις διδακτικές προσεγγίσεις και τις θεωρίες στην περιοχή της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Αναλύεται και συζητείται η δημιουργική χρήση και συμβολή τους στον διδακτικό μετασχηματισμό του γνωστικού περιεχόμενου, της εργαστηριακής εργασίας και της κατανόησης των επιστημονικών μοντέλων. Παρουσιάζουμε συνοπτικά και συζητούμε έρευνες και εφαρμογές στη χώρα μας και στον διεθνή χώρο, καινοτομίες, νέες προοπτικές, ανοιχτά ζητήματα και ερωτήματα που προκύπτουν από την ένταξη των τεχνολογιών στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών.



## Ο Υποστηρικτικός Ρόλος των Ψηφιακών Τεχνολογιών στη Διδασκαλία και Μάθηση των Φυσικών Επιστημών

Οι ψηφιακές τεχνολογίες διαθέτουν πολλές παροχές με εφαρμογές στην εκπαίδευση, π.χ. πολυμεσικές αναπαραστάσεις, μορφές ατομικής και κοινωνικής επικοινωνιακής νοηματοδότησης, σύγχρονες μεθόδους πλοήγησης, εμπλουτισμένα αποθετήρια, δημιουργική έκφραση, διαδικτυακή επικοινωνία, σύγχρονη ή ασύγχρονη σύνθεση κειμένων, ψηφιακές αφηγήσεις (Bumbacher et al., 2017). Συχνά, όμως, παρατηρείται τεχνοκρατική προσέγγισή τους στην εκπαιδευτική πρακτική, όπως η έμφαση στην εξοικείωση με τα εργαλεία, η αναζήτηση πληροφοριών στο διαδίκτυο και η ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων. Αντίθετα, στην παρούσα εργασία προσεγγίζουμε τις τεχνολογίες και τη χρήση τους ως γνωστικά εργαλεία, τα οποία έχουν τη δυνατότητα σε κατάλληλο παιδαγωγικό πλαίσιο να υποστηρίξουν σε βάθος την κατανόηση της εννοιολογικής, διαδικαστικής και επιστημολογικής γνώσης.

Ειδικά στην περιοχή των ΦΕ, τα μαθησιακά περιβάλλοντα παρέχουν επιπλέον ισχυρά γνωστικά εργαλεία, όπως η προσομοίωση και η μοντελοποίηση των φυσικών φαινομένων, η συγχρονική δημιουργία γραφικών παραστάσεων και η αυτόματη επεξεργασία πειραματικών δεδομένων. Για παράδειγμα, πρόσφατες εφαρμογές – που διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο- παρέχουν στους χρήστες πρόσβαση στους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τους- είτε άμεσα είτε μέσω έτοιμων πειραμάτων- με δυνατότητες αλληλεπίδρασης με το φυσικό περιβάλλον καθώς και συγχρονική λήψη και ανάλυση δεδομένων (π.χ. το περιβάλλον <https://rhyphox.org/>). Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών έχει πρόσθετη παιδαγωγική αξία και δυνατότητα μετασχηματισμού των παραδοσιακών μοντέλων μεταφοράς της γνώσης, παρέχοντας στους μαθητές τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με πληθώρα γνωστικών αντικειμένων (Moore et al., 2014). Εφαρμογές όπως, τα εκπαιδευτικά παιχνίδια, η χρήση εικονικών οργάνων μέτρησης των φυσικών μεγεθών, π.χ. θερμοκρασίας (T) και πίεσης (P), ο χειρισμός οπτικοποιημένων εννοιολογικών οντοτήτων, π.χ. της Θερμότητας (Q), διεγείρουν το ενδιαφέρον και συντελούν στη δημιουργική δραστηριοποίηση των μαθητών. Ένα μεγάλο εύρος εκπαιδευτικών πρακτικών, όπως ο συνεργατικός πειραματισμός των μαθητών και η αυθεντική διερεύνηση φαινομένων είναι ήδη εφικτές μέσω των διαδικτυακών εφαρμογών.

Πολλές διεθνείς έρευνες δείχνουν ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες έχουν την δυνατότητα να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τη μάθηση με νέους τρόπους συγκριτικά με το παρελθόν, π.χ. μέσα από τη χρήση ενός μαθησιακού περιβάλλοντος με ενσωματωμένες δυναμικές διασυνδέσεις πολλαπλών αναπαραστάσεων μακροσκοπικών φυσικών μεγεθών (V,T,P, κ.ά.), με μικροσκοπικές οντότητες. Επιπλέον, οι ψηφιακές τεχνολογίες ενσωματώνουν σκαλωσιές μάθησης, μπορούν να τροφοδοτήσουν τους μαθητές με ισχυρά εργαλεία και καινοτόμους τρόπους που δεν θα μπορούσαμε να φανταστούμε στο παρελθόν, ενισχύοντας και διευκολύνοντας την κατανόηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών και διαδικασιών π.χ. με την αξιοποίηση διαδικτυακών περιβαλλόντων διατύπωσης υποθέσεων και πειραματικού σχεδιασμού (Χατζηκρανιώτης & Μολοχίδης, 2017) σύγχρονων πολυμεσικών



λογισμικών μη γραμμικής οργάνωσης και πλοήγησης στις πληροφορίες (Bumbacher et al., 2017) καθώς και αναστοχασμού (Carobianco, 2007).

Συνοψίζοντας την πιο πάνω σύντομη παρουσίαση, θεωρούμε ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες παρέχουν γνωστικά εργαλεία τα οποία αλληλεπιδρούν και (συν) διαμορφώνουν την ανθρώπινη σκέψη και πράξη. Σε αυτό το πλαίσιο εξετάζουμε στη συνέχεια τον υποστηρικτικό τους ρόλο και την πρόσθετη παιδαγωγική αξία τους για τη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ, λαμβάνοντας υπόψη μελέτες από την περιοχή της Διδακτικής των ΦΕ και των τεχνολογιών στην εκπαίδευση.

## **Πλαίσιο Αξιοποίησης των Ψηφιακών Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών**

Οι απόψεις και οι θέσεις που υιοθετούν ερευνητές, σχεδιαστές λογισμικών και εκπαιδευτικοί για τη διδασκαλία και μάθηση της επιστήμης, επιδρούν στον σχεδιασμό των μαθησιακών περιβαλλόντων και στην αξιοποίηση τους στην τάξη, διότι η σχέση μεταξύ των διδακτικών μαθησιακών προσεγγίσεων και της αξιοποίησης της τεχνολογίας είναι πολύπλοκη. Στη Διδακτική των ΦΕ, πολυετείς έρευνες έχουν τεκμηριώσει ότι οι μαθητές έχουν εναλλακτικές αντιλήψεις για τα φυσικά φαινόμενα και τις θεωρίες, οι οποίες διατηρούνται ακόμα και μετά τη διδασκαλία τους. Έχει τεκμηριωθεί η σημασία της διδακτικής αξιοποίησης αυτών των ευρημάτων για την προώθηση της ενεργητικής και συνεργατικής συμμετοχής των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία, την εποικοδόμηση και την κατανόηση των επιστημονικών γνώσεων. Διαμορφώθηκαν τα θεωρητικά πλαίσια του γνωστικού και κοινωνικοπολιτισμικού εποικοδομητισμού, τέθηκε το θέμα της εννοιολογικής αλλαγής ή επαύξησης (π.χ. Duit & Treagust, 1998), σχεδιάσθηκαν και εφαρμόστηκαν καινοτόμες διδακτικές στρατηγικές με θετικά αποτελέσματα, όπως η γνωστική σύγκρουση, η χρήση αναλογιών, οι μεταγνωστικές δραστηριότητες, τα ιστορικά πειράματα καθώς και η αξιοποίηση εκπαιδευτικών λογισμικών. Επίσης, τέθηκε το θέμα του διδακτικού μετασχηματισμού των επιστημονικών γνώσεων σε προς διδασκαλία γνώση προσαρμοσμένη στις αντιλήψεις των μαθητών.

Βασικές αρχές και διδακτικές στρατηγικές του εποικοδομητισμού ενσωματώθηκαν στη διερευνητική προσέγγιση για τη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ, η οποία έχει ήδη προταθεί ή εφαρμοστεί σε πολλά εκπαιδευτικά συστήματα (Duschl & Grandy, 2008; ΙΕΠ, 2014). Η νοηματοδότηση της διερεύνησης ως διδακτική μαθησιακή διαδικασία έχει αλλάξει, από αναφερόμενη αρχικά στην εννοιολογική κατανόηση, συμπεριλαμβάνει την ανάπτυξη δεξιοτήτων και τον συνδυασμό τους ενώ και με την πάροδο του χρόνου συμπεριλαμβάνεται η κατανόηση της φύσης της επιστήμης και της διερεύνησης (Karagianni & Psillos, 2015; Strippel & Sommer, 2015). Η σύγχρονη διερεύνηση εμπεριέχει διαφορετικές στρατηγικές και νοηματοδοτήσεις. Παρά την πολυσημία στον ορισμό κοινό στοιχείο είναι η εστίαση στην ενεργητική συμμετοχή των μαθητών, η αλληλεπίδραση με το φυσικό και τεχνολογικό περιβάλλον τους, η κοινωνική διαπραγμάτευση για την



εποικοδόμηση του επιστημονικού «κόσμου τους» και η κατασκευή νοήματος με πρακτικές που αντιστοιχούν στις πρακτικές των επιστημόνων, όπως η διατύπωση ερωτήματος, ο σχεδιασμός της διερευνητικής διαδικασίας, η ερμηνεία των δεδομένων και η τεκμηριωμένη επιχειρηματολογία (Stawford, 2014). Η διερεύνηση έχει διπλό χαρακτήρα, αποτελεί παιδαγωγική προσέγγιση καθώς και αντικείμενο μάθησης. Οι μαθητές, καθώς διερευνούν ένα φαινόμενο, καθοδηγούνται να αναπτύξουν τις δεξιότητες που απαιτούνται για να υλοποιηθεί η διερευνητική διαδικασία και να εμβαθύνουν στη φύση και τα χαρακτηριστικά της διερεύνησης.

Η διερευνητική μάθηση μπορεί να λάβει χώρα αν οι μαθητές κατασκευάσουν καινούριες γνώσεις με επαγωγικούς ή παραγωγικούς συλλογισμούς, βασιζόμενοι στα δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέγουν μέσω παρατηρήσεων, πειραμάτων, εργασιών πεδίου και των συνδέσεων τους με τις προηγούμενες βιωματικές εμπειρίες και αντιλήψεις τους. Οι μαθητές εμπλέκονται σε γνωσιακές διαδικασίες όπως η παρατήρηση ενός φαινομένου ή προβλήματος, η δημιουργία υποθέσεων, η διατύπωση ερωτημάτων, ο σχεδιασμός πειράματος ή εργασίας πεδίου, η συλλογή δεδομένων, η ανάλυση και ερμηνεία τους, η εξαγωγή συμπερασμάτων, η αξιολόγηση εναλλακτικών ερμηνειών με λογικούς συλλογισμούς. Συμμετέχουν σε μεταγνωστικές δραστηριότητες αναφορικά με τις ενέργειές τους κατά τον σχεδιασμό ή την εκτέλεση πειραματικής εργασίας. Όμως, εμπειρικές έρευνες δείχνουν ότι έχουν δυσκολίες με τις γνωσιακές, διερευνητικές διαδικασίες π.χ. επιλογής ή αναγνώρισης των κατάλληλων μεταβλητών, διάκρισης των εξαρτημένων από τις ανεξάρτητες, διατύπωση υποθέσεων ή ερωτημάτων, σχεδιασμού της εργασίας τους, εξαγωγής συμπερασμάτων και εποικοδόμηση επιστημονικών μοντέλων.

Κατά κανόνα, οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες που προάγουν την συμμετοχή των μαθητών συγκροτούνται σε φάσεις, οι οποίες αποτελούν δομικά στοιχεία των διερευνητικών προτάσεων, μοντέλων ή διερευνητικών κύκλων. Ο τρόπος εμπλοκής σε διερευνητικές δραστηριότητες, ρητά ή υπόρρητα, αποτελεί αντικείμενο μελετών και αντιπαραθέσεων από ερευνητές και παιδαγωγούς (Vorholzer et al., 2020). Από τις εργασίες μας, όπως και άλλων ερευνητών, έχουμε συμπεράνει ότι η εμπλοκή των μαθητών για να υπερβούν τις δυσκολίες τους πρέπει να είναι σταδιακή από αρχικά δομημένες διερευνητικές δραστηριότητες σε καθοδηγούμενες και στη συνέχεια σε ανοιχτές, ειδικά στη χώρα μας όπου οι δυνατότητες πειραματισμού και διερεύνησης φαινομένων είναι περιορισμένες. Η ανοιχτή διερεύνηση αντανακλά ως ένα βαθμό τον τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι επιστήμονες συνελώς απαιτεί σύνθετες δεξιότητες σκέψης όπως ανάλυση, σύνθεση και αξιολόγηση δεδομένων. Από τις έρευνες προκύπτει ότι οι καθοδηγούμενες ρητά ή υπόρρητα διδασκαλίες υπερτερούν των ανοιχτών (Sadeh & Zion, 2009). Στους μαθητές πρέπει να προσφέρεται σταδιακά, από τους εκπαιδευτικούς και τα εκπαιδευτικά υλικά, η δυνατότητα να ελέγχουν τη δική τους μάθηση παίρνοντας πρωτοβουλίες κατά τη μαθησιακή διαδικασία και προσαρμόζοντας τη διαδικασία στις εμπειρίες τους. Μία πρόταση προοδευτικής μετάβασης από δομημένη σε ανοιχτή διερεύνηση αποτελεί το πρότυπο της συνεχούς διερεύνησης (Χατζικρανιώτης & Μολοχίδης, 2017).



Ενθαρρυντικά αποτελέσματα παρατηρούνται όταν η σταδιακή καθοδήγηση των μαθητών υποστηρίζεται με κατάλληλες σκαλωσιές μάθησης. Οι ψηφιακές τεχνολογίες παρέχουν σκαλωσιές πολλών ειδών που μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη αποτελεσματικής διερευνητικής μάθησης π.χ. με περιβάλλοντα τα οποία ενσωματώνουν γνωσιακά εργαλεία, όπως κατάλληλες υποδείξεις, πληροφοριακά κείμενα, φύλλα εργασίας, εργαλεία καταγραφής δεδομένων ή ενεργειών (Bumbacher et al., 2017; Smetana & Bell, 2012.). Υποστηρίζουμε ότι η ένταξη των τεχνολογιών στη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ μπορεί να συντελέσει στον δραστικό μετασχηματισμό της παραδοσιακής διδασκαλίας και να υποστηρίξει με προϋποθέσεις τη διερευνητική προσέγγιση, ανοίγοντας νέες προοπτικές αλλά και νέα ερωτήματα, τα οποία αποτελούν αντικείμενο ερευνών.

## Οι Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες ως Πλαίσιο Έρευνας και Ανάπτυξης

Η αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών με στόχο την πολυδιάστατη εκπαίδευση στις ΦΕ έχει θέσει το ζήτημα της ερευνητικά τεκμηριωμένης ενσωμάτωσής τους στην τάξη και της σχεδιαστικής έρευνας. Στην περιοχή της Διδακτικής των ΦΕ, μία ισχυρή τάση συνδυασμού ερευνητικής και αναπτυξιακής δραστηριότητας είναι οι Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (Teaching Learning Sequences). Το 2004 εκδόθηκε ένα ειδικό τεύχος του IJSE αφιερωμένο στις ΔΜΑ, στο οποίο οι Meheut & Psillos (2004) όρισαν το αντικείμενο των ΔΜΑ και περιέγραψαν τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Μία ΔΜΑ είναι ταυτόχρονα ερευνητική δραστηριότητα, καινοτομική διδακτική παρέμβαση και νέο εκπαιδευτικό υλικό για μαθητές και εκπαιδευτικούς, η οποία βασίζεται σε ερευνητικά τεκμηριωμένες εκπαιδευτικές δραστηριότητες και σενάρια, εμπειρικά προσαρμοσμένες στις ιδέες και τους συλλογισμούς των μαθητών καθώς και στα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Η διδασκαλία και η μάθηση εστιάζεται σε εννοιολογικά πλούσιες περιοχές, όπως ο ηλεκτρισμός, η οπτική, η φωτοσύνθεση, η δομή της ύλης και διαρκεί συνήθως ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα π.χ. μερικών διδακτικών εβδομάδων. Αυτού του είδους η ερευνητική διδακτική δραστηριότητα περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εφαρμογή μιας ΔΜΑ ως κυκλική εξελισσόμενη διαδικασία, η οποία βασίζεται σε ερευνητικά δεδομένα.

Στο ίδιο άρθρο, οι συγγραφείς ανέδειξαν την συγκρότηση διαφορετικών σχεδιαστικών μοντέλων για τις ΔΜΑ π.χ. το Μοντέλο Εκπαιδευτικής Αναδόμησης (MER, Duit et al., 2005), των Διδακτικών Δομών (Lijnse, 2010) που διαμεσολαβούν ανάμεσα στις «μεγάλες» θεωρίες (π.χ. παιδαγωγικές, επιστημολογικές, ψυχολογικές) και στο σχεδιασμό υλικών και διδασκαλιών, εντάσσοντας τις θεωρητικές προτάσεις στις επιστημολογικές και γνωστικές διαστάσεις ενός θέματος της σχολικής επιστήμης. Σε πρόσφατο βιβλίο, οι Psillos & Kariotoglou (2016) συγκρίνουν διεξοδικά νεότερες εκδοχές σχεδιαστικών μοντέλων, επισκοπούν και αναλύουν εμπειρικές έρευνες και καινοτομίες σε πολλές ΔΜΑ, όπως π.χ. αξιοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών ή ιστορίας και επιστημολογίας των ΦΕ. Μεταξύ άλλων, προτείνουν ότι η ανάπτυξη και η μελέτη μιας ΔΜΑ, μπορεί να οδηγήσει είτε σε δεδομένα



για την αποτελεσματικότητά της που έχουν πραγματολογική αξία, είτε σε δεδομένα με τα οποία με μπορούμε να εμβαθύνουμε σε μαθησιακή διαδρομές των μαθητών, στο διδακτικό μετασχηματισμό και στην πλαisiώση και τον έλεγχο των θεωριών. Στο βιβλίο αυτό αναδειχεται η σημασία του προσεγγιστικού σχεδιασμού, τον οποίο συζητούμε πιο κάτω.

Η έρευνα σχετικά με τις ΔΜΑ συμβαδίζει με την σχεδιαστική έρευνα (Design-Based Research) η οποία έχει προταθεί ως ένα γενικό πλαίσιο για την καλύτερη προώθηση της σύνδεσης μεταξύ έρευνας και πρακτικής (Design-Based Research Collective, 2003). Η σχεδιαστική έρευνα σκοπεύει στην συγκρότηση «τοπικών» θεωριών μάθησης και διδασκαλίας και ανάπτυξης καινοτόμων παρεμβάσεων σε αυθεντικές συνθήκες. Οι προθέσεις και οι διαδικασίες που προτείνονται διαμορφώνουν ένα πλαίσιο αντιμετώπισης των σύνθετων χαρακτηριστικών της έρευνας σχετικά με την ένταξη της τεχνολογίας. (Design-Based Research Collective, 2003; Kelly et al., 2008). Μία ουσιώδης διαφορά μεταξύ σχεδιαστικής έρευνας και Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών, είναι η έμφαση τους στην ανάλυση του γνωστικού περιεχομένου, στο διδακτικό μετασχηματισμό του και στην διαμόρφωση αντίστοιχων πλαισιωμένων θεωριών μάθησης (Rutven et al., 2009).

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μιας ΔΜΑ δεν είναι δραστηριότητα «μία και έξω», αλλά εξελικτική διαδικασία προσεγγιστικού τύπου ανάπτυξης και οργάνωσης εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και τεκμηριωμένης προσαρμογής τους στις γνώσεις των μαθητών, με στόχο να μειωθεί η απόσταση ανάμεσα στη διδασκαλία και τη μάθηση (Psillos & Kariotoglou, 2016). Επιπλέον, η δημιουργία διδακτικού περιεχομένου προσαρμοσμένου στη σκέψη των μαθητών, εμπειρέχει υπόρρητες ειδικές γνώσεις, πρακτικές και αποφάσεις από τους ερευνητές και εκπαιδευτικούς, που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το σχεδιασμό και την ανάπτυξη των αντίστοιχων διδακτικών προσεγγίσεων αλλά συχνά δεν αποτυπώνονται στις δημοσιευμένες εργασίες. Με αυτή την προσεγγιστική, ερευνητική και αναπτυξιακή διαδικασία, αξιολογούνται παρεμβάσεις και υλικά σε αυθεντικά περιβάλλοντα, ενώ ταυτόχρονα διαμορφώνονται και δημοσιεύονται σχεδιαστικές αρχές, οι οποίες μπορεί να αποτελέσουν πλαίσιο για ανάλογα μελλοντικά εγχειρήματα. Ενώ σε δημοσιευμένες έρευνες η αναπαράσταση του επιστημονικού περιεχομένου γίνεται αποδεκτή όπως συνήθως παρουσιάζεται στα εμπειρικά αναπτυγμένα αναλυτικά προγράμματα και σχολικά βιβλία, στο πλαίσιο των ΔΜΑ αποτελεί αντικείμενο η εποικοδομητική διαπραγμάτευσή του, ώστε να προσαρμοστεί στις ιδέες και τις απόψεις των μαθητών. Το αποτέλεσμα μιας ΔΜΑ, μπορεί να είναι ο διδακτικός μετασχηματισμός του επιστημονικού περιεχομένου και η διαφορετική αναπαράστασή του (Andersson & Bach, 2005).

Στα νεότερα χρόνια, ένα αυξανόμενο ποσοστό ερευνών έχει αναδείξει την σημασία της ενεργού συμμετοχής των εκπαιδευτικών στην καινοτομία. Διαφορετικές μορφές συμμετοχικών προσεγγίσεων σχολείου- πανεπιστημίου έχουν προταθεί γύρω από την ιδέα των επαγγελματικών κοινοτήτων μάθησης και στο πλαίσιο των ΔΜΑ. Μολονότι είναι απαιτητικές τόσο για τους εκπαιδευτικούς όσο και για τους ερευνητές, συμβάλλουν στην αναγνώριση «του λόγου των εκπαιδευτικών» και στην επαγγελματική ανάπτυξη των



συμμετεχόντων. Αυτές οι συμμετοχικές προσεγγίσεις είναι επίσης εξαιρετικά κατάλληλες για το συσχετισμό έρευνας και καινοτομίας σχετικά με την ένταξη ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαίδευση των ΦΕ.

Για παράδειγμα, οι ερευνητές Zoupidis et al. (2016), συγκρότησαν ομάδα εργασίας με εκπαιδευτικούς, ανέπτυξαν και εφάρμοσαν μία ΔΜΑ βασισμένη στη διερεύνηση με αξιοποίηση ψηφιακής τεχνολογίας και καθημερινών υλικών για την εισαγωγή της πυκνότητας στο Δημοτικό. Ο διδακτικός μετασχηματισμός του γνωστικού αντικειμένου, οδήγησε σε ποιοτική αντί της φορμαλιστικής, εισαγωγή της πυκνότητας ως ιδιότητα των υλικών στα φαινόμενα επίπλευσης/ βύθισης. Η ΔΜΑ βασίστηκε σε ένα πραγματικό σενάριο βύθισης (το ατύχημα με το πλοίο Σάμινα), το οποίο αύξησε το ενδιαφέρον και τα κίνητρα των μαθητών, ενώ παράλληλα αποτέλεσε ένα σύνδεσμο μεταξύ επιστήμης και τεχνολογίας. Ο βασικός στόχος της ΔΜΑ ήταν η βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης της πυκνότητας, της διαδικαστικής και επιστημολογικής κατανόησης που σχετίζεται με τη στρατηγική ελέγχου των μεταβλητών, καθώς και τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Οι συγγραφείς διαμορφώνουν σχεδιαστικές αρχές και εφαρμόζουν διαδικασίες προσεγγιστικής βελτίωσης της ΔΜΑ σύμφωνα με το μοντέλο επιστημονικής πρακτικής του Pickering. Συμπεραίνουν ότι οι περισσότερες από τις βελτιώσεις αναφέρονται στη διαδικαστική και επιστημολογική γνώση, ενώ λίγες είναι αυτές που αφορούν το εννοιολογικό περιεχόμενο της ΔΜΑ)

Οι εποικοδομητικές συνέργειες με τους εκπαιδευτικούς δεν είναι σημαντικές μόνο στο στάδιο της ανάπτυξης μίας ΔΜΑ αλλά και στην διάδοση και εφαρμογή της στις τάξεις. Συνοπτικά, επειδή πρόκειται για καινοτομία, οι έρευνες δείχνουν ότι η σαφήνεια των σκοπών, των σχεδιαστικών αρχών και των οδηγιών συμβάλλει στην αποδοχή της από εκπαιδευτικούς. Καθοριστικός παράγων είναι η αντιμετώπιση των εκπαιδευτικών που θα αναλάβουν να εφαρμόσουν μία ΔΜΑ όχι ως παθητικών εκτελεστών έτοιμων υλικών αλλά ως συνεργατών και σχεδιαστών της (ανα)πλαισίωσης και των αλλαγών που θα προκύπτουν ανάλογα με τις σχολικές συνθήκες (Stavrou et al., 2019).

## **Αναπαριστώντας και Μετασχηματίζοντας το Περιεχόμενο**

Σημαντικό πλεονέκτημα των ψηφιακών τεχνολογιών είναι ότι έχουν τη δυνατότητα δυναμικής οπτικοποίησης και επιλεγμένης αναπαράστασης του επιστημονικού περιεχομένου μειώνοντας την πολυπλοκότητά του, ώστε να εστιάσθει η προσοχή των μαθητών μόνο στο υπό μελέτη φαινόμενο και να υποστηριχθεί η διερευνητική μάθηση. Για παράδειγμα, υποστηρίζεται η ορατή απεικόνιση διεργασιών που δεν φαίνονται, όπως οι χημικές αντιδράσεις, η κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων, το ανθρώπινο κυκλοφορικό σύστημα και η αυτόματη διασύνδεση μακροσκοπικών μεγεθών με μικροσκοπικούς μηχανισμούς. Οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να διεξάγουν επιστημονικές διερευνήσεις γύρω από διαδραστικές δυναμικές οπτικοποιήσεις, για να εποικοδομήσουν το νόημα δυσνόητων επιστημονικών εννοιών, όπως π.χ. το γραμμομόριο ή δυσδιάκριτων φαινομένων που είναι δύσκολο να διδαχθούν από τους εκπαιδευτικούς, όπως η ομοιόσταση κυττάρων (Olympriou, et al., 2013). Επιπλέον, μπορούν να



μοντελοποιήσουν εύκολα επιστημονικές και προσωπικές γνώσεις, π.χ. μέσω λογισμικών εννοιολογικής χαρτογράφησης (Zhang & Linn, 2011).

Σε αυτό το μέρος της εργασίας, διαπραγματευόμαστε επιλεγμένα θέματα που αφορούν δύο διαστάσεις της αξιοποίησης των ψηφιακών τεχνολογιών, την πολυτροπική αναράσταση και τον διδακτικό μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχόμενου. Ως προς την πρώτη διάσταση, επισημαίνουμε ότι οι παροχές των σύγχρονων μαθησιακών περιβαλλόντων έχουν δημιουργήσει νέες διαστάσεις στην πολυτροπική αναπαράσταση του επιστημονικού περιεχόμενου, νέες μαθησιακές προοπτικές και ερωτήματα, τα οποία αποτελούν αντικείμενο πολύχρονων ερευνών. Οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να διεξάγουν ερευνητικές δραστηριότητες υποστηριζόμενοι από διαδραστικές δυναμικές οπτικοποιήσεις, κατά την διάρκεια των οποίων συχνά είναι αναγκαίο να εκτελέσουν εργασίες που απαιτούν τη χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων για την επικοινωνία του επιστημονικού νοήματος. Σπάνια υπάρχει μία μόνο αναπαράσταση που ανταποκρίνεται σε όλες τις διδακτικές απαιτήσεις, ενώ συγκεκριμένες αναπαραστάσεις υποστηρίζουν κατά κανόνα την εκτέλεση μόνο μέρους των απαιτούμενων εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων.

Πλήθος ερευνών δείχνει ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες να κατανοήσουν τη σχέση μεταξύ δύο αναπαραστάσεων και να ανταπεξέλθουν στο γνωστικό φορτίο της διασύνδεσής τους (Ainsworth et al., 2002; Moreno et al., 2011). Για παράδειγμα, όταν μελετούν τη διάδοση κυμάτων αντιμετωπίζουν δυσκολίες μετάβασης μεταξύ δύο αναπαραστάσεων, της ανάλυσης ενός κυματικού παλμού και της συμπεριφοράς των σωματιδίων του μέσου (Tarantino et al., 2005). Πολλά περιβάλλοντα εικονικών εργαστηρίων και προσομοιώσεων εμπιρεύουν γνωσιακές σκαλωσές για την αντιμετώπιση των δυσκολιών, έχοντας ενσωματώσει πολλαπλές αναπαραστάσεις ενός φαινομένου ή μοντέλου, δυνατότητες διασύνδεσης και μετάβασης από μία αναπαράσταση σε άλλη. Όταν οι μαθητές επεξεργάζονται μία αναπαράσταση, τα αποτελέσματα της φαίνονται παράλληλα σε άλλη, με στόχο τη μείωση του γνωστικού φορτίου. Η διδακτική αξιοποίηση της δυναμικής πολυτροπικής αναπαράστασης του περιεχομένου απασχολεί την ερευνητική κοινότητα, π.χ. η διαδοχική εμφάνιση ή η παράλληλη διασύνδεση των αναπαραστάσεων και η σχέση τους με το γνωστικό περιεχόμενο (Jaakkola & Veermans, 2015; Johnson et al., 2013).

Για παράδειγμα, υλοποιούμε ένα μακράς διάρκειας ερευνητικό πρόγραμμα στην περιοχή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Ταραμόπουλος & Ψύλλος, 2016) που αφορά τον σχεδιασμό και την εφαρμογή τεχνολογικά υποστηριζόμενων ΔΜΑ, διερευνητικού χαρακτήρα σε αυθεντικές συνθήκες σχολείου (Ταμαρούλος & Psillos, 2017). Σε μία έρευνα μελετώντας τη δυνατότητα των μαθητών γυμνασίου να μετατρέπουν ένα κύκλωμα DC από μία μορφή σε μια άλλη (πραγματική, ρεαλιστική, σχηματική), φάνηκε πως τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την πολυπλοκότητα του κυκλώματος: όλοι οι συμμετέχοντες μαθητές μετατρέπουν απλά κυκλώματα επιτυχώς αλλά όσοι χρησιμοποίησαν εικονικά εργαστήρια με δυναμικές, ρεαλιστικές και σχηματικές αναπαραστάσεις κατά τη διδασκαλία, είχαν συγκριτικά καλύτερες επιδόσεις σε πιο σύνθετα κυκλώματα (Ταμαρούλος & Psillos, 2019). Σε άλλη έρευνα, η οποία εστιάζει στην επίδραση της πιστότητας των αναπαραστάσεων του πραγματικού κόσμου,



φάνηκε πως για τους μαθητές γυμνασίου, η χρήση των περιβαλλόντων εικονικών εργαστηρίων με ρεαλιστικές αναπαραστάσεις οδηγεί σε παρόμοια εννοιολογική βελτίωση με τη χρήση σχηματικών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Όμως, όταν το περιβάλλον του εικονικού εργαστηρίου συνδυάζει ρεαλιστικά αναπαριστάμενα όργανα με δυναμικά συνδεδεμένες σχηματικές αναπαραστάσεις, ώστε κάθε αλλαγή σε μια αναπαράσταση να εμφανίζεται αυτόματα και στην άλλη, μαθητές λυκείου σημείωσαν καλύτερη επίδοση από αυτούς που χρησιμοποίησαν μόνο μία αναπαράσταση κατά την ενασχόλησή τους με προβλήματα σχετικά υψηλής πολυπλοκότητας, ενώ οι επιδόσεις τους είναι παρόμοιες όταν ασχολούνται μόνο με απλά προβλήματα στα ηλεκτρικά κυκλώματα (Taramporoulos & Psillos, 2017).

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα των δικών μας και άλλων ερευνών, δείχνουν ότι η διδασκαλία με διερεύνηση ηλεκτρικών κυκλωμάτων αξιοποιώντας εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα υποστηρίζει ικανοποιητικά την εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη διασύνδεση και τον μετασχηματισμό ηλεκτρικών κυκλωμάτων από μια μορφή σε μια άλλη (Finkelstein et al., 2005). Ωστόσο αυτές οι νέες εκπαιδευτικές εφαρμογές αποτελούν αντικείμενο ερευνών. Τα οφέλη που αποκομίζονται από τη χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων δεν είναι πάντα ορατά, καθώς η δυνατότητα κατανόησης και χρήσης αυτών των αναπαραστάσεων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την πρότερη γνώση, την ηλικία των μαθητών ή το συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο.

Ως προς την δεύτερη διάσταση, υποστηρίζουμε ότι οι εμπλουτισμένες με τεχνολογία ΔΜΑ παρέχουν ένα ισχυρό και δυναμικό πλαίσιο για τη διερεύνηση και τον δημιουργικό διδακτικό μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχομένου, για να το προσαρμόσουν στη σκέψη και τις μαθησιακές απαιτήσεις των μαθητών. Για παράδειγμα, οι Wisser & Amin (2001) λαμβάνοντας υπόψη τις εννοιολογικές δυσκολίες των μαθητών εισάγουν ποιοτικά την αφηρημένη έννοια της θερμότητας μετασχηματίζοντας τη συνήθη φορμαλιστική αναπαράστασή της με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων. Συνοπτικά το ποσό της θερμότητας αναπαρίσταται με έναν αριθμό εικονιδίων «Es» και η θερμοκρασία με το πλήθος αυτών των «Es» σε μία περιοχή, στη «μοριακή κίνηση» τα μόρια αναπαρίστανται με κινούμενους κύκλους, οι δυνάμεις ανάμεσα στα μόρια συμβολίζονται με ελατήρια, η μοριακή ενέργεια (π.χ. η θερμοκρασία) αναπαρίσταται από τον αριθμό των «Es» ανά μόριο που μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν, ενώ ένας εικονικός μετρητής «E-μετρο» αναπαριστά τον συνολικό αριθμό των «Es» σε ένα αντικείμενο και που προστίθεται σε αυτό. Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε λειτουργία προσομοιώσεων, είτε συγχρονικά με πραγματικούς θερμικούς αισθητήρες και πηγές θερμότητας συνδεδεμένες με τον υπολογιστή. Το πλήρες σκεπτικό και η περιγραφή των μοντέλων έχουν δημοσιευτεί σε άλλες εργασίες (Wisser & Amin, 2001). Τα αποτελέσματα των αντίστοιχων διδακτικών παρεμβάσεων ήταν θετικά.

Σε μία άλλη εργασία σχεδιάσαμε και εφαρμόσαμε στο Γυμνάσιο μια καινοτόμα ΔΜΑ η οποία εστιάζει στην μακρο/μικρο διαπραγματεύση της αγωγιμότητας, την επιλογή και την διερευνητική χρήση των αντίστοιχων επιστημονικών μοντέλων (Ψύλλος & Μολοχίδης, 2017). Ακολουθώντας το Μοντέλο της Εκπαιδευτικής Αναδόμησης μετασχηματισμένα,



προσομοιωμένα, μικροσκοπικά μοντέλα αναπτύχθηκαν ειδικά για τη δυναμική οπτικοποίηση της διαδικασίας της μεταφοράς ενέργειας σε διαφορετικές κατηγορίες υλικών. Μοντέλα κεραμικών και μετάλλων οπτικοποιήθηκαν με άκαμπτες μπάλες που προσομοίωναν τα άτομα σε ένα πλέγμα κρυσταλλικού στερεού ενώ μικρές κόκκινες μπάλες αναπαριστούσαν την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στα μέταλλα. Μελετήθηκε η σχέση των μοντέλων με τα πειράματα ώστε να παρέχουν στους μαθητές εννοιολογικά εργαλεία ερμηνείας και κατανόησης της αγωγιμότητας. Η έρευνα έδειξε ότι η χρήση καλώς σχεδιασμένων δυναμικών εργαλείων οπτικοποίησης σε συνδυασμό με μαθητο-κεντρικές διερευνητικές δραστηριότητες βελτώνει σημαντικά τη μάθηση.

Μία άλλη όψη του τεχνολογικά υποστηριζόμενου διδακτικού μετασχηματισμού αναφέρεται στην εργασία των Testa et al. (2016), οι οποίοι παρουσιάζουν ένα πλαίσιο συσχέτισης επιστημονικού και τεχνολογικού περιεχομένου και δεξιοτήτων στην περιοχή της Οπτικής. Το μοντέλο Εκπαιδευτικής Αναδόμησης (MER) έχει υιοθετηθεί ως σχεδιαστικό πλαίσιο διδακτικού μετασχηματισμού του περιεχομένου της επιστήμης και της τεχνολογίας, συγκεκριμένα στην διερεύνηση και μοντελοποίηση φυσικών φαινομένων και στην αξιοποίηση εισαγωγικής οπτικής και διάδοσης φωτός σε οπτικές ίνες. Η ΔΜΑ αναπτύχθηκε συμμετοχικά από ερευνητές και εκπαιδευτικούς και βασίσθηκε στο συνδυασμό πραγματικών πειραμάτων και μοντελοποίησης δεδομένων με το λογισμικό Gabri. Η εφαρμογή της σε γυμνάσιο προκάλεσε το ενδιαφέρον και τη δραστηριοποίηση των μαθητών.

Συνοψίζοντας, η αξιοποίηση δυναμικών εργαλείων οπτικοποίησης σε συνδυασμό με μαθητοκεντρικές διερευνητικές δραστηριότητες στο πλαίσιο των υποστηριζόμενων από την τεχνολογία ΔΜΑ, παρέχουν ένα ισχυρό πλαίσιο για τη διερεύνηση, τη δημιουργική αναπαράσταση και μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχομένου, με σκοπό να το προσαρμόσουν στη σκέψη και τις μαθησιακές απαιτήσεις των μαθητών δημιουργώντας νέες διδακτικές προοπτικές.

## Μετασχηματίζοντας την Εργαστηριακή Εργασία

Τα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα που βασίζονται σε επιστημονικά μοντέλα παρέχουν ευέλικτη και συστηματική αντιμετώπιση των φυσικών μεγεθών, τα οποία αφορούν τα υπό μελέτη φαινόμενα. Συγκεκριμένα, σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους επιτρέπουν -μεταξύ άλλων- την αλλαγή περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, τη συγχρονική κατασκευή γραφικών παραστάσεων, τη συγχρονική μελέτη και αναπαράσταση της εξέλιξης φυσικών μεγεθών, π.χ. των V-I, παρέχουν ασφάλεια και επαναληπτικότητα χειρισμών και είναι οικονομικά σε σχέση με ακριβούς εργαστηριακούς εξοπλισμούς. Σημαντικό πλεονέκτημα των εικονικών εργαστηρίων, σε σχέση με τα πραγματικά, είναι ότι η «πραγματικότητα» μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να υποστηρίξει τη μαθησιακή διαδικασία καθώς και την ύπαρξη δυναμικώς συνδεδεμένων αναπαραστάσεων και μοντέλων διαφόρων επιπέδων ρεαλισμού ή αφαίρεσης. Η «πραγματικότητα» μπορεί να απλοποιηθεί μειώνοντας



την πολυπλοκότητά της και αναδεικνύοντας τις βασικότερες πληροφορίες, ώστε να επικεντρωθεί η προσοχή των μαθητών μόνο στο υπό μελέτη φαινόμενο και να αποφευχθεί η ανάγκη κατάκτησης υπερβολικού όγκου πληροφοριών που μπορεί να εμποδίσει τη μάθηση (Ruten et al., 2012).

Σε αυτό το πλαίσιο, η ενσωμάτωση εικονικών εργαστηριακών περιβαλλόντων στην τάξη και οι διεργασίες που συμβαίνουν κατά την αλληλεπίδραση μαθητών και εκπαιδευτικών μόνο με τα εικονικά ή σε συνδυασμό με τα πραγματικά εργαστήρια, αποτελούν αντικείμενο συνεχών ερευνών (Jaakkola & Veermans, 2015; Zacharia & Olymπίου, 2011). Οι περισσότερες από τις μελέτες εστιάζουν κυρίως στην εννοιολογική εξέλιξη και τις επιδόσεις των μαθητών σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Όμως η δυνατότητα των εικονικών εργαστηρίων να υποστηρίζουν την ανάπτυξη πειραματικών δεξιοτήτων στους μαθητές δεν έχει ακόμα μελετηθεί σε βάθος, γι' αυτό η επίδρασή τους στη διαδικαστική γνώση αποτελεί ανοιχτό ερευνητικό και διδακτικό θέμα, στο οποίο αναφερόμαστε στις επόμενες παραγράφους (Wang & Tseng, 2018).

Μία από τις πιο σημαντικές δεξιότητες συνδεδεμένες με την εργαστηριακή εργασία θεωρείται ότι είναι ο σχεδιασμός των πειραμάτων, διότι σχετίζεται με την κατανόηση του αντίστοιχου γνωστικού πεδίου αλλά και με την επιστημονική μεθοδολογία (Riesen et al., 2018). Σε μία εργασία μας (Lefkos et al., 2011), αξιολογήθηκε η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν πειράματα στην περιοχή της θερμότητας σε οκτώ διαστάσεις, όπως η διατύπωση υπόθεσης, η επιλογή των μεταβλητών, η περιγραφή των αρχικών συνθηκών του πειράματος. Από τα αποτελέσματα αυτά, όπως και άλλων ερευνητών, προκύπτει ότι τα περιβάλλοντα εικονικών εργαστηρίων ενσωματώνουν τις κατάλληλες σκαλωσιές και δομές που θα τους βοηθήσουν να ανταπεξέλθουν σε καθοδηγούμενες δραστηριότητες με σκοπό την κατανόηση και καλλιέργεια του πειραματικού σχεδιασμού.

Σε άλλη έρευνα (Ταραμόπουλος & Ψύλλος, 2013), αναφέραμε ότι, μετά από μία διδακτική παρέμβαση, στην οποία ο πειραματικός σχεδιασμός δεν διδάσκεται άμεσα αλλά έμμεσα, οι περισσότεροι μαθητές που είχαν ενεργή εμπλοκή με εικονικά πειράματα στο πεδίο DC κυκλωμάτων, ήταν σε θέση να σχεδιάζουν και να εκτελούν επιτυχώς τις απαιτούμενες πειραματικές εργασίες. Οι δραστηριότητες εκτελούνταν επιτυχώς ανεξάρτητα αν η αναπαράσταση των κυκλωμάτων ήταν ρεαλιστική, σχηματική, ή δυναμικά διασυνδεδεμένη ρεαλιστική και σχηματική. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι συμμετέχοντες ήταν σε θέση να υπερβούν γνωστικά και μεθοδολογικά εμπόδια, π.χ. να αναγνωρίζουν τα μεγέθη που επηρεάζουν το υπό μελέτη φαινόμενο, να περιγράφουν την πειραματική διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί και να κατασκευάζουν το κύκλωμα του πειράματός τους. Φάνηκε ότι στην αρχή των διδακτικών παρεμβάσεων οι μαθητές, ελλείπει επιστημονικών και διαδικαστικών γνώσεων, χρειάζονται μεγάλη υποστήριξη και ότι ωφελούνται από τη σταδιακή μετάβαση σε σχεδόν ελεύθερου τύπου διερευνητικές δραστηριότητες σύμφωνα με τη Θεωρία Γνωστικού Φόρτου (Kaluga, 2007). Συνολικά, τα αποτελέσματα της τρέχουσας διεθνούς έρευνας δείχνουν ότι η διδασκαλία σε διερευνητικό πλαίσιο χρησιμοποιώντας εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα υποστηρίζει ικανοποιητικά την ανάπτυξη των δεξιοτήτων πειραματικού σχεδιασμού και εκτέλεσης.



Η σχέση επιστημονικών γνώσεων και πειραματικών δεξιοτήτων, απασχολεί ερευνητές και εκπαιδευτικούς, διότι έχει παρατηρηθεί διάσταση και αδυναμία εφαρμογής θεωρητικών γνώσεων κατά την εκτέλεση πραγματικών πειραμάτων λόγω του απαιτούμενου χειριστικού φόρτου από τους μαθητές. Ανοιχτό θέμα προς διερεύνηση είναι η εμπέδωση του γνωστικού περιεχόμενου που αποτελεί σημαντική παράμετρο σχετικά με την κατανόηση και εκτέλεση πειραμάτων. Με σκοπό τον σχεδιασμό ενός πειράματος, οι μαθητές οφείλουν να έχουν ικανοποιητικές γνώσεις του τομέα ώστε να είναι σε θέση να διατυπώνουν υποθέσεις, να κατανοούν τις μεταβλητές που επηρεάζουν το πείραμα και πώς να τις ελέγχουν, να κατανοούν τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο πείραμα, να εξάγουν αποτελέσματα και να καταλήγουν σε συμπεράσματα (Vorholzer et al., 2020). Έρευνες σε εξέλιξη δείχνουν ότι η κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου, συμβάλλει στο σχηματισμό κατάλληλων υποθέσεων προς διερεύνηση, στην κατανόηση των πειραματικών φαινομένων, στην κατανόηση των πειραματικών αποτελεσμάτων και την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων. Το θέμα παραμένει ανοιχτό προς διερεύνηση.

Εύλογα υπάρχει ο προβληματισμός αν μπορούν να μεταφερθούν από το χώρο των εικονικών εργαστηρίων δεξιότητες σε πραγματικές εργαστηριακές συνθήκες. Μελέτες στο χώρο της Μηχανικής έχουν δείξει ότι η μεταφορά μπορεί να γίνει με επιτυχία (Klahr et al., 2007). Επίσης, στο χώρο του ηλεκτρισμού, οι μαθητές που χρησιμοποίησαν κατά τη διδασκαλία εικονικά εργαστήρια δείχνουν να βοηθούνται από τις παροχές των εικονικών εργαστηρίων να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου, σε σημείο που καταφέρνουν να ανταπεξέλθουν σε πειράματα με πραγματικά εργαστηριακά όργανα με μεγαλύτερη επιτυχία από συμμαθητές τους που χρησιμοποίησαν κατά τη διδασκαλία πραγματικά εργαστήρια και επομένως είχαν μεγαλύτερη εμπειρία στη χρήση αυτών (Finkelstein et al., 2005). Αν όμως υπάρχει κάποια δυσκολία στη χρήση των πραγματικών εργαστηριακών οργάνων, τότε οι μαθητές που έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη εμπειρία στη χρήση τους πλεονεκτούν έναντι αυτών που δεν τα είχαν ξαναχρησιμοποιήσει (Ταραμόπουλος & Ψύλλος, 2013). Χρειάζονται επί πλέον έρευνες και για αυτό το θέμα.

Συνοπτικά υποστηρίζουμε ότι τα εικονικά περιβάλλοντα ενταγμένα σε κατάλληλες παιδαγωγικές προσεγγίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε πρωτόγνωρες μαθησιακές εμπειρίες, στην υποστήριξη, τον εμπλουτισμό και τον ριζικό μετασχηματισμό συνεργατικής πειραματικής εργασίας και αλληλεπιδραστικών επιδείξεων στα σχολεία, ιδιαίτερα στη χώρα μας με τις υποβαθμισμένες εργαστηριακές υποδομές.

## Υποστηρίζοντας την Επιστημολογική Κατανόηση

Ερευνητές, εκπαιδευτικοί, συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων, επισημαίνουν τη σημασία των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην επιστήμη και στην επιστημονική δραστηριότητα στη σχολική τάξη. Η μοντελοποίηση είναι θεμελιώδης επιστημονική πρακτική η οποία προωθείται στη σχολική εκδοχή της ως μία πολύτιμη αλλά «γεμάτη προκλήσεις» πολυδιάστατη



παιδαγωγική προσέγγιση, με στόχο την εννοιολογική κατανόηση της φύσης, των μοντέλων και της επιστήμης από τους μαθητές (Bryce et al. 2016; Louca & Zacharia, 2012). Αν και η μάθηση με τα μοντέλα έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας παλαιότερα, πρόσφατα έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τη βασισμένη στην τεχνολογία μοντελοποίηση. Η ανάπτυξη ισχυρών και φιλικών μαθησιακών περιβαλλόντων (π.χ. Modelus, <https://modellus-x.software.informer.com/0.4/>) έκανε εφικτή την άνθιση ερευνών και εφαρμογών που στοχεύουν στην κατανόηση του γνωστικού περιεχόμενου, της φύσης των μοντέλων και των διαδικασιών μοντελοποίησης στο πλαίσιο της πολυδιάστατης εκπαίδευσης στις ΦΕ (Cambell et al., 2015; Fuhrmann et al., 2018; Seel, 2017).

Πέρα από την επίδειξη μοντέλων σε παραδοσιακές διδασκαλίες, η δραστηριοποίηση μαθητών και εκπαιδευτικών στη νοηματοδοτημένη μάθηση επιστημολογικών χαρακτηριστικών των μοντέλων και επιστημονικής μοντελοποίησης έχει δείχθει ότι είναι απαιτητικός στόχος. Η επιστημολογική κατανόηση για τα μοντέλα, απαιτεί την ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων ρύθμισης της γνώσης, της παρακολούθησης και αξιολόγησης των πρακτικών που υιοθετούν τη χρήση μοντέλων κατά τη διερευνητική διαδικασία (Schwarz & White, 2005). Πολλές στρατηγικές έχουν προταθεί και εφαρμοσθεί για να υποστηριχθούν οι μαθητές ώστε να υπερβούν τις παρανοήσεις και τις εναλλακτικές ιδέες τους σχετικά με τα μοντέλα και τη φύση τους, να εξουικειωθούν και να δραστηριοποιηθούν σε νοηματοδοτημένες δραστηριότητες μοντελοποίησης. Κατά κύριο λόγο είναι πέντε: η εξερευνητική (exploratory), η εκφραστική (expressive), η πειραματική (experimental), η αξιολογική (evaluative) και η κυκλική (cyclic). Οι έρευνες δείχνουν ότι η τεχνολογία υποστηρίζει την εκφραστική (expressive) μοντελοποίηση, κατά την οποία οι μαθητές μπορούν να κατασκευάσουν τα δικά τους μοντέλα, έτσι ώστε να εκφράσουν και να ελέγξουν τις ιδέες που διατηρούν για τον κόσμο και την εξερευνητική (exploratory) μοντελοποίηση, κατά την οποία οι μαθητές πρέπει να εξερευνήσουν και να ελέγξουν ένα δεδομένο μοντέλο. Πρόσφατη επισκόπηση ερευνών (Campbell et al., 2015) βρήκε ότι πολύ συχνός είναι ο συνδυασμός πειραματικής με την εξερευνητική μοντελοποίηση. Η κατάλληλη επιλογή αυτών των στρατηγικών, ο συνδυασμός τους με πειραματική εργασία και η πλασιώσή τους σε συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο αποτελεί αντικείμενο προβληματισμού και ερευνών.

Για παράδειγμα, αναπτύξαμε και εφαρμόσαμε μία ΔΜΑ στην περιοχή της Οπτικής βασισμένη στη διερεύνηση, ενσωματώνοντας χαρακτηριστικές πειραματικές και διερευνητικές στρατηγικές μοντελοποίησης με κυκλικό τρόπο (Κουκιάδου & Ψύλλος, 2018, Soulios & Psillos, 2016). Η ΔΜΑ στόχευε στη βελτίωση των επιστημολογικών απόψεων μαθητών και εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τη φύση, τον σκοπό και την αναθεώρηση των μοντέλων, καθώς και στην κατανόηση της θεωρίας και των φαινομένων οπτικής που σχετίζονται με τις ιδιότητες των οπτικών ινών. Επιλέχθηκαν και ενσωματώθηκαν ψηφιακές τεχνολογίες για να υποστηρίξουν εξερευνητικές, εκφραστικές, και πειραματικές δραστηριότητες μοντελοποίησης σε κυκλική διαδικασία. Κατ' αρχάς, μία προσομοίωση Flash χρησιμοποιείται για να εισαχθούν οι μαθητές στο μοντέλο της οπτικής ακτίνας, που υιοθετείται μέσα στη ΔΜΑ και στα σχολικά εγχειρίδια. Η αξιοποίηση του λογισμικού Cabri Geometre



(<https://cabri.com/en/>), επιτρέπει τη μεταφορά φωτογραφιών πραγματικών πειραμάτων στον εικονικό κόσμο, δρώντας ως γέφυρα ανάμεσα στον πραγματικό και τον εικονικό κόσμο. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στους μαθητές να οπτικοποιούν, να χειρίζονται, να εξοικειώνονται με βασικά στοιχεία της (Γεωμετρικής) Οπτικής και σταδιακά να αποδεχτούν ότι η ακτίνα δεν είναι πραγματική οντότητα, αλλά ένα μοντέλο του πραγματικού φαινομένου της διάδοσης του φωτός. Επιπλέον η αξιοποίηση της εφαρμογής «Bending Light» ([http://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html)), παρέχει ένα εικονικό, φιλικό, διαδραστικό περιβάλλον, στο οποίο η διάδοση του φωτός που αναπαρίσταται βασίζεται στο μοντέλο της ακτίνας, επιτρέποντας την ταυτόχρονη οπτικοποίηση ανακλώμενων και διαθλώμενων ακτινών φωτός και τον χειρισμό και τη σταδιακή αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης σε πραγματικό χρόνο. Οι διερευνητικές δραστηριότητες μοντελοποίησης που βασίζονται στις προσομοιώσεις συνδυάστηκαν με εκφραστικές δραστηριότητες, εστιάζοντας την προσοχή των μαθητών σε συγκεκριμένες διαστάσεις των φαινομένων και παρέχοντας τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί η σύνδεση με πειραματική μοντελοποίηση για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την ανάπτυξη των ερμηνειών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση κυκλικής μοντελοποίησης που ενσωματώθηκε στη ΔΜΑ, συνετέλεσε στη βελτίωση των απόψεων των μαθητών σχετικά με τα μοντέλα, από ένα απλοϊκό προς ενδιάμεσο ή εξελιγμένο επίπεδο σχετικά με τη φύση, τον σκοπό και την αναθεώρηση των μοντέλων.

Η πλαίσιωση των μοντέλων και πρακτικών μοντελοποίησης σε κατάλληλο γνωστικό πεδίο αποτελεί ελκυστική δραστηριότητα για τους μαθητές, αναδεικνύει την περιγραφική, ερμηνευτική και προβλεπτική σημασία τους για την κατανόηση της επιστήμης και των επιστημονικών πρακτικών, την ανάγκη για την οπτικοποίηση και χειρισμό μη ορατών οντοτήτων ή μηχανισμών, όπως η σωματιδιακή δομή της ύλης, η μικροσκοπική ερμηνεία της πίεσης, η κίνηση ηλεκτρικών φορτίων κ.ά. Οι Cheng et al. (2014), αναφέρουν ως παράδειγμα μετασχηματισμένου διδακτικά μοντέλου, τη σωματιδιακή φύση του φωτός για να αντιληφθούν οι μαθητές μη ορατές οντότητες και μηχανισμούς. Ένα άλλο παράδειγμα αναφέρθηκε σε προηγούμενο μέρος σχετικά με τη θερμική αγωγιμότητα. Με την εμπλοκή τους οι μαθητές προτρέπονται και υποστηρίζονται να χειριστούν μη ορατές οντότητες και να επιχειρούν λογικές υποθέσεις για την ερμηνεία των φαινομένων.

Η χρήση των μοντέλων και των δραστηριοτήτων μοντελοποίησης υποστηρίζει τη διερεύνηση στην εκπαιδευτική διαδικασία, αφού δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να αντιμετωπίσουν το μοντέλο ως ερευνητικό εργαλείο και να μάθουν μέσω διερεύνησης (Windschitl et al., 2008). Η επικεντρωμένη στα μοντέλα διερεύνηση, αποτελεί μια διδακτική προσέγγιση κατά την οποία οι μαθητές εμπλέκονται στην επιστημονική διερεύνηση, που εστιάζει το ενδιαφέρον της στη χρήση, στη δημιουργία, στην αξιολόγηση και την αναθεώρηση των επιστημονικών μοντέλων, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν για να κατανοήσουμε και να προβλέψουμε τον φυσικό κόσμο. Επιπλέον, προωθεί την ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων ρύθμισης της γνώσης, όπως της παρακολούθησης και της αξιολόγησης των πρακτικών που υιοθετούν τη χρήση μοντέλων κατά τη διερευνητική διαδικασία. Ανοιχτό θέμα που έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον,



αποτελεί η συσχέτιση μεταξύ των επιστημολογικών πεποιθήσεων των μαθητών για τα μοντέλα και της γνώσης του περιεχομένου πριν και την εμπλοκή τους σε κατάλληλες πρακτικές μοντελοποίησης. Χρειάζεται περισσότερη έρευνα σε αυτό το θέμα, αν και οι πρώτες ενδείξεις είναι μάλλον θετικές (Cheng et al., 2014; Seel, 2017; Soulios & Psillos, 2016; Sins et al., 2009).

## Συμπεράσματα

Τα τεχνολογικά εργαλεία αποτελούν προϊόντα αλληλεπίδρασης της κοινωνίας με την τεχνολογία και τη φύση. Η χρήση τους καθορίζεται από αυτή τη διαλεκτική σχέση και δεν μπορούν να νοηματοδοτηθούν εκτός των ανθρωπίνων σχέσεων. Στην εκπαίδευση, δεν ενδιαφέρουν μόνο τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των ψηφιακών τεχνημάτων αλλά και πώς μπορούν να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού και κοινωνικού περιβάλλοντος. Στην παρούσα εργασία εξετάσαμε τις παροχές και την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών σε συνάρτηση με τις σύγχρονες έρευνες, τις διδακτικές προσεγγίσεις και τις θεωρίες στο πεδίο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Η παρουσίαση και ανάλυση ερευνών και εφαρμογών δείχνει ότι η ένταξη των τεχνολογιών στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται κατάλληλες συνθήκες όπως υποδομές, αναλυτικά προγράμματα και επιμόρφωση εκπαιδευτικών, μπορεί να συντελέσει στον δραστικό μετασχηματισμό και την πολυδιάστατη εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και να δημιουργήσει νέα πεδία έρευνας στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τους Α. Μολοχίδη, Α. Σαμαντά, Θ. Ταραμόπουλο για τις παρατηρήσεις και τα εποικοδομητικά σχόλια κατά την συγγραφής της εργασίας.

Η εργασία αυτή υποστηρίχθηκε από το έργο «Μελέτη των αναπτυξιακών πτυχών του επιστημονικού εγγραμματος εκπαιδευόμενων σε συνθήκες τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης με την χρήση εικονικών εργαστηρίων και γεωγραφικών δεδομένων» (κωδ. MIS/ΟΠΣ 5002552). Το έργο εντάσσεται στη «Δράση Στρατηγικής Ανάπτυξης Ερευνητικών & Τεχνολογικών Φορέων» του προγράμματος ΕΠΑνΕΚ 2014-2020 και συγχρηματοδοτείται από το ΕΤΠΑ.



## Βιβλιογραφία

- ΙΕΠ (2014). Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού για το «Νέο Σχολείο»
- Κουκιογλου, Σ., Ψύλλος, Δ. (2019). Ενισχύοντας τις επιστημολογικές αντιλήψεις μαθητών γυμνασίου για τα επιστημονικά μοντέλα. 11ο Πανελλήνιο Συνέδριο- ΕΝΕΦΕΤ- Φλώρινα
- Ταραμόπουλος, Α. & Ψύλλος, Δ. (2013). Σύγκριση πραγματικού και εικονικού εργαστηρίου ως προς την ικανότητα κατασκευής πραγματικών ηλεκτρικών κυκλωμάτων για μαθητές Γυμνασίου 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (ΕΝΕΦΕΤ), Πρακτικά σελ. 280-287, Βόλος.
- Ταραμόπουλος, Α. & Ψύλλος, Δ. (2016). Αποτελεσματικότητα των εικονικών εργαστηριακών περιβαλλόντων στη διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στην Ελληνική Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Πρακτικά 10ου Πανελληνίου και Διεθνούς Συνεδρίου "Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση", Επιμέλεια: Α. Μικρόπουλος, Ν. Παπαχρήστος, Α. Τσιάρα, Π. Χαλκή, 23-25 Σεπτεμβρίου 2016, Ιωάννινα, σελ. 447-453.
- Χατζηκρανιώτης Ε., Μολοχίδης Α. (2017). Εισάγοντας μαθητές Γυμνασίου σε πειραματικές διερευνητικές δραστηριότητες. Στο Σταύρου Δ., Μιχαηλίδη Α. & Κοκολάκη Α. (2017). Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης, 7-9 Απριλίου 2017 (σσ. 689-697). Ρέθυμνο: Εκδόσεις GUTENBERG. ISBN: 978-960-86978-3-6
- Ψύλλος, Δ., Μολοχίδης Α. (2017). Μελέτη επαναληπτικά εξελισσόμενης διδακτικής ακολουθίας για τη θερμική αγωγιμότητα των υλικών. Στο Σταύρου Δ., Μιχαηλίδη Α. & Κοκολάκη Α. (2017). Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης, 7-9 Απριλίου 2017 (σσ. 1213-1216). Ρέθυμνο: Εκδόσεις GUTENBERG. ISBN: 978-960-86978-3-6.
- Ainsworth, S., Bibby, P. & Wood, D. (2002). Examining the Effects of Different Multiple Representational Systems in Learning Primary Mathematics, *Journal of the Learning Sciences*, 11(1): 25-61, doi: 10.1207/S15327809JLS1101\_2.
- Anastasiades P & Zaranis N (2016) (Eds). *Research on e-Learning and ICT in Education Technological, Pedagogical and Instructional Perspectives*. Springer.
- Andersson, B. & Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Sci. Ed.*, 89: 196-218. doi:10.1002/sce.20044.



- Bryce, C. M., Baliga, V. B., Nesnera, K. L. D., Fiack, D., Goetz, K., Tarjan, L. M. & Ash, D. (2016). Exploring models in the biology classroom. *The American Biology Teacher*, 78(1), 35-42.
- Bumbacher E, Salehi S, Wieman C, Blikstein P (2017). Tools for Science Inquiry Learning: Tool Affordances, Experimentation Strategies, and Conceptual Understanding. *Journal of Science Education and Technology*.
- Campbell, T., Seok, Oh P., Maughn, M., Kiriazis, N. & Zuwallack, R. (2015). A Review of Modeling Pedagogies: Pedagogical Functions, Discursive Acts, and Technology in Modeling Instruction *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 11(1), 159-176.
- Capobianco, B.M. (2007). A Self-Study of the Role of Technology in Promoting Reflection and Inquiry-Based Science Teaching. *J Sci Teacher Educ* 18, 271–295.  
<https://doi.org/10.1007/s10972-007-9041-z>
- Cheng, M. F., Lin, J. L., Chang, Y. C., Li, H. W., Wu, T. Y. & Lin, D. M. (2014). Developing explanatory models of magnetic phenomena through model-based inquiry. *Journal of Baltic Science Education*, 13(3), 351-360.
- Crawford, B. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Vol. II* (pp. 515–541). New York, NY: Routledge.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32, 5-8. doi:10.3102/0013189X032001005.
- Duit, R. & Treagust, D. (1998). Learning in science: From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. Fraser & K. Tobin, Eds. *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Duit, R., Gropengieier, H. & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In H. E. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education* (pp. 1–9). London: Taylor & Francis.
- Duschl, R. & Grandy, R. (2008). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*. Sense Publishers, Rotterdam, Netherlands.
- Finkelstein N.D., Adams W.K., Keller C.J., Kohl P.B., Perkins K.K., Podolefsky N.S., and Reid S. (2005) When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1, p. 1-8.
- Fuhrmann, T., Schneider, B., Blikstein, P. (2018). Should students design or interact with models? Using the Bifocal Modelling Framework to investigate model construction in high school science. *International Journal of Science Education* 40(8):867-893.



- Jaakkola T, Veermans K (2015). Effects of abstract and concrete simulation elements on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning* 31:300-313.
- Johnson A. M, Reisslein J, Reisslein M (2013). Representation sequencing in computer-based engineering education. *Computers & Education* 72:249-261.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, 19, 509-539.
- Karagianni, C. & Psillos, D. (2015). Learning with an about non-linear nature of inquiry. *Proceeding ESERA Conference, Helsinki, 31 August- 4 September*.
- Kelly, A., Baek, J., Lesh, R. & Bannan-Ritland, B. (2008). Enabling innovations in education and systematizing their impact. In: Kelly, A. E., Lesh, R. & Baek, J. (Eds.). (2008a). *Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, mathematics and engineering learning and teaching* (pp. 3–16) New York: Routledge.
- Klahr, D.; Triona, L.M. & Williams, C. (2007). Hands on what? the relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children  
*Journal of Research in Science Teaching, vol. 44, no. 1, p. 183-203.*
- Lefkos I, Psillos D, Hatzikraniotis E (2011) Designing experiments on thermal interactions by secondary students in a simulated laboratory environment. *Research in Science & Technological Education* 29(2):189-204.
- Lijnse, P. (2010). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences. In K. Kortland & K. Klaassen (Eds.), *Designing theory-based teaching – Learning sequences*.
- Louca, L. T. & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471–492.  
<https://doi.org/10.1080/00131911.2011.628748>.
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-Learning Sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.  
doi:10.1080/09500690310001614762.
- Moore, E. B., Chamberlain, J. M., Parson, R. & Perkins, K. K. (2014). PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191-1197.
- Moreno R, Ozogul G & Reisslein M (2011). Teaching with concrete and abstract visual representations: Effects on students' problem solving, problem representations, and learning perceptions. *Journal of Educational Psychology* 103(1): 32-47.



- Olympiou, G., Zacharias, Z. & deJong, T. (2013). Making the invisible visible: Enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575–596.  
<https://doi.org/10.1007/s11251-012-9245-2>
- Osborne, J. & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections* (Vol. 13). London: The Nuffield Foundation.
- Psillos, D. & Kariotoglou, P., (2016). Theoretical Issues Related to Designing and Developing Teaching-Learning Sequences. In Dimitris Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 11–34).  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_2)
- Riesen, S., Gijlers, H., Anjewierden A., de Jong, T., (2018). Supporting learners' experiment design Education Tech Research Dev <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9568-4>
- Rocard, M. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. EU report on science education\_en.pdf. Retrieved 31 January 2011.
- Ruten N, van Joolingen W. R, van der Veen J. T (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education* 58:136-153.
- Ruthven K, Colette Laborde, John Leach, and Andrée Tiberghien (2009). Design Tools in Didactical Research: Instrumenting the Epistemological and Cognitive Aspects of the Design of Teaching Sequences Educational Researcher, Vol. 38, No. 5, pp. 329–342  
DOI: 10.3102/0013189X09338513
- Sadeh, I. & Zion, M. (2009). The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting. *Journal of Research in Science Teaching* 46:1137–1160.
- Schwarz, C. V. & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition & Instruction*, 23(2), 165–205.  
[doi:10.1207/s1532690xci2302\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1)
- Seel, N. M. (2017). Model-based learning: A synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65(4), 931-966.
- Sins P.H.M, Savelsbergh, E.R., van Joolingen, W.R. & van Hout-Wolters B.H.A.M (2009) The Relation between Students' Epistemological Understanding of Computer Models and their Cognitive Processing on a Modelling Task, *International Journal of Science Education*, 31:9, 1205-1229, DOI: [10.1080/09500690802192181](https://doi.org/10.1080/09500690802192181).
- Smetana, L. & Bell, R. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature, *International Journal of Science Education*, 34:9, 1337-1370, DOI: 10.1080/09500693.2011.605182.
- Soulios, I. & Psillos, D. (2016). Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process. *International Journal of Science Education*, 38(7):1212-1233.



- Stavrou, D., Michailidi, E. & Sgouros, G. (2018). Development and dissemination of a teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology in a context of communities of learners. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1065–1080.
- Strippel, C & Sommer, S. (2015). Teaching Nature of Scientific Inquiry in Chemistry: How do German chemistry teachers use labwork to teach NOSI?, *International Journal of Science Education*, 37(18): 2965-2986, DOI: 10.1080/09500693.2015.1119330.
- Taramopoulos, A. & Psillos, D. (2019). Promoting Representational Fluency through Dynamically Linked Concrete and Abstract Representations in Electric Circuits. *Journal of Science Education and Technology* 28(6):638-650.
- Taramopoulos, A. & Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning* 33(2): 151-163.
- Tarantino, G., Fazio, C. & Guastella, I. (2005). Designing and Validating a Teaching/Learning Sequence about Elastic Wave Propagation: The Role of Pedagogical Tools. In Pinto, R and Couso, D. (eds.), *Proceedings of the fifth international conference of ESERA* (Barcelona, Spain).
- Testa, Italo, Lombardi, S., Monroy, G. & Sassi, E. (2016). Integrating Science and Technology in School Practice Through the Educational Reconstruction of Contents. In Dimitris Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 101–125). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_6)
- Vorholzer, A., Von Aufschnaiter, C. & Boone, W.J. (2020). Fostering Upper Secondary Students' Ability to Engage in Practices of Scientific Investigation: a Comparative Analysis of an Explicit and an Implicit Instructional Approach. *Res Sci Educ* 50, 333-359 [doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1](https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1).
- Wang, T.L. & Tseng, Y.K. (2018). The comparative effectiveness of physical, virtual, and virtual-physical manipulatives on third-grade students' science achievement and conceptual understanding of evaporation and condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 203-219. [doi:10.1007/s10763-016-9774-2](https://doi.org/10.1007/s10763-016-9774-2).
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. [doi:10.1002/sce.20259](https://doi.org/10.1002/sce.20259).
- Wiser, M. & Amin, T. G. (2001). Is heat hot? Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction* 11:331-335.
- Zacharias, Z. C. & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulatives: Rethinking physics experimentation. *Learning and Instruction*, 21, 317-331.



- Zhang, Z.H. & Linn, M.C. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations?. *J. Res. Sci. Teach.*, 48: 1177-1198. doi:10.1002/tea.20443.
- Zoupidis A., Spyrtou A., Malandrakis, G. & Kariotoglou, P. (2016). A Teaching Learning Sequence for introducing inquiry aspects and density as materials' property, in floating / sinking phenomena: the process of the sequence refinement. In *Iterative design of teaching-learning sequences: introducing the science of materials in European schools*, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, ISBN-13:978-94-007-7807-8, p.167-199, DOI:10.1007/978-94-007-7808-5.

### **Συνοπτικό Βιογραφικό Σημείωμα**

**Δημήτρης Ψύλλος:** Διετέλεσε Καθηγητής της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και της Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας στο Παιδαγωγικό Τμήμα ΔΕ, ΑΠΘ. Έχει Πτυχίο Φυσικής, ΑΠΘ, MED και PhD, Exeter UK, στις Επιστήμες της Εκπαίδευσης, ειδίκευση στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Δίδαξε στα Τμήματα Φυσικής, Χημείας, ΠΤΔΕ του ΑΠΘ, Επιστημών Αγωγής (Κύπρος) μαθήματα Φυσικής, Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας σε προπτυχιακό μεταπτυχιακό επίπεδο. Διδάσκει σε ΠΜΣ στο ΑΠΘ, Παιδαγωγικό Τμήμα ΔΕ και Τμήμα Φυσικής καθώς και στο Πανεπιστήμιο Δ. Μακεδονίας. Διηύθυνε ερευνητικά προγράμματα, ήταν κριτής σε περιοδικά και συνέδρια. Διετέλεσε, μεταξύ άλλων, Πρόεδρος της ΕΣΕΡΑ και της ΕΝΕΦΕΤ. Στο έργο του περιλαμβάνονται δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή και ελληνικά περιοδικά, σε πρακτικά συνεδρίων, καθώς και εκδόσεις βιβλίων που αφορούν στη διερεύνηση και μοντελοποίηση των αντιλήψεων μαθητών και εκπαιδευτικών, στο σχεδιασμό και ανάπτυξη καινοτόμων διδακτικών προσεγγίσεων, Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών, στην ανάπτυξη και διερεύνηση μαθησιακών περιβαλλόντων βασισμένων σε ΤΠΕ, στην επιμόρφωση εκπαιδευτικών στη Διδακτική των ΦΕ και στις ΤΠΕ.