

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

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)

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

## ΠΡΑΚΤΙΚΑ

### 14<sup>ο</sup>

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

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

12-14 Απριλίου 2025

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ  
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΠΘ  
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΑΠΘ

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

synedrio2025.enepht.gr

## Σχεδιαστικές Αρχές Κατασκευής Διαδραστικών Προσομοιώσεων: Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης

*Μιχαήλ Στεφανής, Ελένη Πετρίδου, Αναστάσιος Μολοχίδης*

doi: [10.12681/codiste.9816](https://doi.org/10.12681/codiste.9816)

## Σχεδιαστικές Αρχές Κατασκευής Διαδραστικών Προσομοιώσεων: Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης

Μιχαήλ Στεφανής<sup>1</sup>, Ελένη Πετρίδου<sup>2</sup>, Αναστάσιος Μολοχίδης<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ΠΜΣ «Διδακτική της Φυσικής και Εκπαιδευτική Τεχνολογία»,  
<sup>2</sup>Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, <sup>3</sup>Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,  
Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
<sup>1</sup>*mistefan@physics.auth.gr*

### Περίληψη

Οι διαδραστικές προσομοιώσεις ενσωματώνονται με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό στην εκπαιδευτική διαδικασία, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην ενίσχυση της επιστημονικής και πειραματικής σκέψης. Παρότι παρουσιάζουν καταγεγραμμένα πλεονεκτήματα, συνοδεύονται και από συγκεκριμένους περιορισμούς σε σύγκριση με την πραγματοποίηση εργαστηριακών πειραμάτων. Στην παρούσα εργασία εφαρμόζονται πρωτότυπες αρχές για σχεδιασμό τριών διαδραστικών προσομοιώσεων που αφορούν τα φαινόμενα της άνωσης, της ταλάντωσης εκκρεμούς και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Κατά τον σχεδιασμό δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη δυνατότητα των προσομοιώσεων να αμβλύνουν ορισμένα από τα μειονεκτήματα που τις διακρίνουν έναντι των παραδοσιακών εργαστηριακών δραστηριοτήτων, ενισχύοντας την διερεύνηση μέσα από την αξιοποίηση περισσότερων μεταβλητών και την προώθηση πειραματικών δεξιοτήτων μέσα από την εισαγωγή σφαλμάτων.

**Λέξεις κλειδιά:** διαδραστικές προσομοιώσεις, ανάπτυξη προσομοιώσεων, σχεδιαστικές αρχές

## Design Principles for the Construction of Interactive Simulations: A Case Study Analysis

Michail Stefanis<sup>1</sup>, Eleni Petridou<sup>2</sup>, Anastasios Molohidis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PSG "Didactics of Physics and Educational Technology",  
<sup>2</sup>Laboratory Teaching Staff, <sup>3</sup>Assistant Professor,  
Laboratory of Didactics of Physics and Educational Technology,  
School of Physics, Aristotle University of Thessaloniki  
<sup>1</sup>*mistefan@physics.auth.gr*

### Abstract

Interactive simulations are being increasingly integrated into the educational process, contributing significantly to the development of scientific and experimental thinking. Although they offer well-documented advantages, they are also accompanied by specific limitations when compared to the execution of real laboratory experiments. This study applies original design principles to the development of three interactive simulations focusing on the phenomena of buoyancy, pendulum oscillation, and the photoelectric effect. Emphasis was placed on the potential of these simulations to mitigate certain disadvantages relative to traditional laboratory activities, fostering open-ended exploration by enabling the manipulation of a wider range of variables, and promoting experimental skills through the deliberate incorporation of measurement errors.

**Keywords:** interactive simulations, simulation development, design principles

## Εισαγωγή

Μια προσομοίωση αποτελεί απομίμηση μιας πραγματικής διαδικασίας του πραγματικού κόσμου ή ενός συστήματος (Banks, 2010) με τις προσομοιώσεις στην εκπαίδευση να αναπαριστούν συνήθως νοητικά μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα στο πλαίσιο της ανακάλυψης / διερεύνησης, οι προσομοιώσεις ζητούν από τον μαθητή να ανακαλύψει τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, που διέπει την προσομοίωση, αξιοποιώντας την δυνατότητα αλλαγής μεταβλητών και παρατήρησης των αλλαγών (De Jong & Van Joolingen, 1998).

Η προσπάθεια ένταξης των προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία είναι συνεχής τις τελευταίες δεκαετίες με τις δυνατότητες των υπολογιστών να αυξάνονται διαρκώς. Ιδιαίτερα στο πλαίσιο της ενεργής μάθησης, οι προσομοιώσεις παρέχουν την δυνατότητα στους μαθητές να δημιουργήσουν υποθέσεις και να τις διερευνήσουν ξεπερνώντας τα προβλήματα που σχετίζονται με τα πραγματικά πειράματα όπως ο χρόνος, η επικινδυνότητα, το άγχος και η επιδεξιότητα (Van Berkum & De Jong, 1991). Βιβλιογραφικά έχει εντοπιστεί ότι οι προσομοιώσεις είναι πολύ βοηθητικές στην βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων παρέχοντας ένα δυναμικό μέσο ενεργής εξερεύνησης από τον μαθητή με αποτέλεσμα την βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, χωρίς να αγνοείται η σημασία της κατάλληλης προετοιμασίας από τον εκπαιδευτικό που θα τις εφαρμόσει ώστε να διασφαλιστεί το βέλτιστο αποτέλεσμα (Banda & Nzabahimana, 2021 · Rutten et al., 2012).

Οι προσομοιώσεις έχουν εφαρμοστεί σε πολλαπλά διδακτικά πλαίσια, αλλά τον τελευταίο καιρό έχει αναδειχθεί η αξιοποίησή τους ως μέσο για την διερευνητική μάθηση με θετικά αποτελέσματα ως προς την εννοιολογική και επιστημονική κατανόηση (Srisawasdi & Panjaburee, 2015). Επιπλέον, φαίνεται ότι προάγει την ενεργή ενασχόληση με τη διερεύνηση πιο «αδύναμων» μαθητών (Wen et al., 2020). Είναι φανερό επομένως ότι η προσαρμογή των προσομοιώσεων στο πλαίσιο της διερευνητικής διδασκαλίας παρέχει πολλαπλά πλεονεκτήματα.

Παρά βέβαια τις πολυάριθμες έρευνες που αναδεικνύουν τα σημαντικά πλεονεκτήματα των διαδραστικών προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία και τη μάθηση, καθώς και τη σύνδεσή τους με καινοτόμες παιδαγωγικές προσεγγίσεις, η διερεύνηση των χαρακτηριστικών σχεδιασμού που ενισχύουν την ενασχόληση και τη μαθησιακή αποτελεσματικότητα των μαθητών παραμένει σχετικά περιορισμένη.

Ένας από τους βασικότερους φορείς ανάπτυξης και διάδοσης διαδραστικών προσομοιώσεων σήμερα είναι το πρόγραμμα PhET Interactive Simulations του Πανεπιστημίου του Colorado Boulder. Οι προσομοιώσεις που παρέχονται από το PhET αποτελούν όχι μόνο μια καθιερωμένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη πηγή, αλλά και το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα συστηματικής σχεδίασης και υλοποίησης τέτοιων εργαλείων. Σύμφωνα με τις σχετικές δημοσιεύσεις της ομάδας του PhET, η σημαντικότερη αρχή σχεδιασμού είναι αυτή της επαναληπτικής σχεδίασης (iterative design). Οι προσομοιώσεις δοκιμάζονται επανειλημμένα και συνοδεύονται από συνεντεύξεις με εκπαιδευτικούς και μαθητές, με στόχο τη συνεχή βελτίωση και την προσαρμογή τους στις ανάγκες της μαθησιακής διαδικασίας (Wieman et al., 2008).

Μεταξύ των βασικών παρατηρήσεων του PhET για την αποτελεσματική σχεδίαση διαδραστικών προσομοιώσεων ξεχωρίζει η ενθάρρυνση της εξερεύνησης (Adams et al., 2008). Πολλά από τα χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων έχουν σχεδιαστεί ώστε να προκαλούν την περιέργεια των μαθητών, οδηγώντας τους σε ενεργή εμπλοκή και ανακάλυψη, χωρίς να απαιτείται απαραίτητα ρητή καθοδήγηση μέσω οδηγιών ή φύλλων εργασίας. Χαρακτηριστικά όπως οι κινούμενες αναπαραστάσεις, μικρές "προκλήσεις"/παζλ και η υψηλή διαδραστικότητα ενισχύουν τη διερευνητική μάθηση. Επιπλέον, άλλα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων περιλαμβάνουν τη διαισθητική διεπαφή, τη δυναμική ανατροφοδότηση, την αξιοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων, τη δυνατότητα πραγματοποίησης ενεργειών που είναι ανέφικτες στον πραγματικό κόσμο, καθώς και τη σύνδεση με αυθεντικές καταστάσεις.

Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται και η παιχνιδιοποίηση (gamification) της εμπειρίας, η οποία ενισχύει την παρακίνηση των μαθητών (Lancaster et al., 2013).

Δεν θα πρέπει, βέβαια, να παραβλέπεται ο ρόλος των ευρύτερων αρχών σχεδίασης που ακολουθούνται από προγραμματιστές εφαρμογών, ιδίως καθώς η ανάπτυξη εκπαιδευτικών εργαλείων μέσω διαδικτύου έχει αυξηθεί ραγδαία. Ορισμένες από τις βασικές αρχές σχεδίασης ιστοσελίδων και διαδικτυακών εφαρμογών τονίζουν ξανά τη σημασία της διαδραστικότητας, η οποία σχετίζεται με τη δημιουργία ελκυστικών και αποτελεσματικών εμπειριών για τον χρήστη, ενισχύοντας το αίσθημα ικανοποίησης (Teo et al., 2003). Έχει διαπιστωθεί ότι η αυξημένη διαδραστικότητα σε έναν ιστότοπο επηρεάζει θετικά την αντιλαμβανόμενη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα, ενισχύοντας το αίσθημα συμμετοχής και ελέγχου, στοιχεία που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη συνολική στάση των χρηστών απέναντι στο περιβάλλον αυτό. Τέλος, αξίζει να υπενθυμιστούν οι θεμελιώδεις αρχές σχεδιασμού ιστοσελίδων, όπως η οργάνωση και η αξία του περιεχομένου, η ευκολία πλοήγησης, η καθαρότητα αναπαράστασης, ο σαφής στόχος της σελίδας και η ευχρηστία (Garett et al., 2016).

Καθώς, όπως έχει ήδη επισημανθεί, οι σχεδιαστικές αρχές δεν είναι πλήρως εδραιωμένες ή σαφώς καθορισμένες, και δεδομένου ότι στην παρούσα εργασία προτείνεται μια νέα, καινοτόμα προσέγγιση, κρίνεται σκόπιμο αυτή να εξεταστεί υπό το πρίσμα μιας πιο θεμελιώδους θεωρητικής αρχής, η οποία μπορεί να θεωρηθεί προπομπός πολλών από τις προηγουμένως αναφερθείσες: της θεωρίας του νοητικού φορτίου. Η θεωρία αυτή, από τη διατύπωσή της, έχει επηρεάσει σημαντικά τη σχεδίαση εκπαιδευτικού υλικού και την επιστήμη του instructional design (Cooper, 1990). Πράγματι, αρκετές από τις σχεδιαστικές επιλογές που έχουν παρουσιαστεί όπως η διαισθητική διεπαφή ή η παιχνιδιοποίηση μπορούν να θεωρηθούν ως εφαρμογές ή επεκτάσεις βασικών αρχών της θεωρίας του νοητικού φορτίου.

Στο πλαίσιο αυτής της θεωρίας, η βέλτιστη αξιοποίηση του περιορισμένου νοητικού αποθέματος της εργασιακής μνήμης απαιτεί τη μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (extraneous cognitive load) με ταυτόχρονη ενίσχυση του συναφούς γνωστικού φορτίου (germane cognitive load). Στόχος είναι να διευκολυνθεί η ενεργητική επεξεργασία και ενσωμάτωση των νέων πληροφοριών από τους μαθητές, ενισχύοντας την εννοιολογική κατανόηση και τη μακροπρόθεσμη μάθηση (Wong et al., 2012).

Με βάση τις παραπάνω σχεδιαστικές αρχές, μπορεί πλέον να αρχίσει να διαμορφώνεται το πλαίσιο της παρούσας εργασίας, με έμφαση στην αναζήτηση νέων σχεδιαστικών στοιχείων στο περιεχόμενο των προσομοιώσεων. Στο πλαίσιο της διασύνδεσης με τη διερευνητική μάθηση, παρατηρείται ότι οι περισσότερες προσομοιώσεις στοχεύουν στην ανάδειξη της νομοτελειακής σχέσης μεταξύ των μεταβλητών ενός φαινομένου. Ως συνέπεια, συχνά παραλείπεται η ενσωμάτωση ή η διαχείριση παραμέτρων που δεν σχετίζονται άμεσα με τη ζητούμενη νομοτέλεια.

Επιπλέον, στις περισσότερες περιπτώσεις απουσιάζει η έννοια του σφάλματος, παρόλο που πρόκειται για ουσιώδες χαρακτηριστικό των πραγματικών πειραμάτων και του φυσικού, “χαοτικού” κόσμου γενικότερα (Olympriou & Zacharia, 2012). Το γεγονός αυτό περιορίζει την αυθεντικότητα της εμπειρίας και ενδέχεται να οδηγήσει τους μαθητές σε λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με την πειραματική διαδικασία.

Ταυτόχρονα, η δυνατότητα ελεύθερης διερεύνησης πλήττεται σημαντικά, καθώς σπάνια παρέχεται η δυνατότητα για περαιτέρω ποσοτική μελέτη πέραν της ζητούμενης σχέσης, ενώ οι μεταβλητές που δεν συνεισφέρουν άμεσα σε αυτήν συχνά απουσιάζουν εντελώς. Αν και είναι προφανές ότι ορισμένα πλεονεκτήματα των πραγματικών πειραμάτων (π.χ. η ανάπτυξη δεξιοτήτων χειρισμού εργαστηριακού εξοπλισμού) δεν μπορούν να μεταφερθούν αυτούσια σε μια ψηφιακή προσομοίωση, δεν υφίσταται θεωρητικό εμπόδιο στην ενσωμάτωση περισσότερων μεταβλητών ή στην παρουσία σφαλμάτων στις μετρήσεις.

Ωστόσο, μια εμπλουτισμένη προσομοίωση με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, ενδέχεται να υπονομεύσει ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των προσομοιώσεων: την απλότητα και

την ευκολία χρήσης σε σχέση με τα πραγματικά πειράματα. Επιπλέον, σύμφωνα με τη θεωρία του νοητικού φορτίου, η αύξηση του μαθησιακού περιεχομένου δύναται να προκαλέσει αύξηση του εγγενούς γνωστικού φορτίου (intrinsic cognitive load), ενώ η προσθήκη μη απαραίτητων πληροφοριών ή περίπλοκων διεπαφών μπορεί να εντείνει το εξωγενές γνωστικό φορτίο (extraneous cognitive load). Και τα δύο αυτά στοιχεία ενδέχεται να οδηγήσουν σε υπερφόρτωση της μνήμης εργασίας, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της μάθησης.

Λαμβάνοντας υπόψη την θεωρία που αναλύθηκε παραπάνω, σχεδιάστηκαν προσομοιώσεις που περιλαμβάνουν τη διαχείριση όχι μόνο των απαραίτητων μεταβλητών για την εξαγωγή της νομοτέλειας, αλλά και μεταβλητών που επιτρέπουν τον έλεγχο υποθέσεων που προκύπτουν από εναλλακτικές αντιλήψεις μαθητών, ενώ ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα παροχής δεδομένων με σφάλματα.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας είναι:

- Είναι δυνατό, και με ποιους τρόπους μπορεί να ενσωματωθεί η έννοια των σφαλμάτων μέσα στις διαδραστικές προσομοιώσεις με στόχο τη διδακτική αξιοποίηση;
- Είναι δυνατό να εισαχθούν πρόσθετες μεταβλητές σε μια διαδραστική προσομοίωση που προέρχονται από εναλλακτικές αντιλήψεις ή μη νομοτελειακές μεταβλητές και δεν υπάρχουν ήδη στις υπάρχουσες;
- Πώς μπορεί η ενσωμάτωση της έννοιας των πειραματικών και εννοιολογικών σφαλμάτων σε διαδραστικές προσομοιώσεις Φυσικής να υποστηρίξει την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών και να συμβάλει στην αντιμετώπιση εναλλακτικών αντιλήψεων;
- Σε ποιον βαθμό η εισαγωγή πρόσθετων μεταβλητών, οι οποίες αποτυπώνουν εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών ή μη νομοτελειακές παραμέτρους, σε διαδραστικές προσομοιώσεις Φυσικής μπορεί να λειτουργήσει ως διδακτικό εργαλείο για τη γνωστική σύγκρουση και την εννοιολογική αλλαγή;

Στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία διαδραστικών προσομοιώσεων με ενσωματωμένα τα παραπάνω καινοτόμα χαρακτηριστικά αλλά διατηρώντας στον δυνατό βαθμό τις βασικές αρχές που αναλύθηκαν προηγουμένως.

## Μεθοδολογία

Για τους σκοπούς της έρευνας σχεδιάστηκαν από την αρχή τρεις προσομοιώσεις στα πεδία της άνωσης, της ταλάντωσης του εκκρεμούς και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, τα οποία αποτελούν διαφορετικά φαινόμενα φυσικής που διαπραγματεύονται στο ελληνικό σχολείο μέσα από σχέσεις νομοτέλειας. Έπειτα από έρευνα υπάρχουσών προσομοιώσεων στο διαδίκτυο σε σχέση με τα τρία αυτά θέματα (στις σελίδες phet, seilias, javalab, Φωτόδεντρο, κ.α.) και την καταγραφή των στοιχείων των προσομοιώσεων αυτών, δηλαδή το μοντέλο που αξιοποιούν τις παραμέτρους που δύναται να μεταβληθούν, σχεδιάστηκαν με βάση τις προαναφερόμενες αρχές τρεις νέες προσομοιώσεις που υλοποιήθηκαν σε html, css, javascript με ανοιχτές βιβλιοθήκες ώστε να είναι ελεύθερα προσβάσιμες στο διαδίκτυο μέσα από περιηγητές (browsers) χωρίς περιορισμούς.

Οι κύριες σχεδιαστικές αρχές των προσομοιώσεων ήταν:

1. Να περιέχουν μεταβλητές που περιγράφουν την ζητούμενη νομοτέλεια
2. Να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά που σχετίζονται με εναλλακτικές αντιλήψεις ακόμα και εκτός νομοτελειακού νόμου
3. Να μπορούν να εισάγουν ή να ασκήσουν τους μαθητές σε βασικές αρχές πειραματισμού (σφάλματα, διαχείριση συσκευών, οργάνωση μετρήσεων κ.τ.λ.)
4. Να αξιοποιηθούν στον δυνατό βαθμό οι σχεδιαστικές αρχές που αναλύθηκαν στην βιβλιογραφία ώστε να μειωθεί το γνωστικό φορτίο από τα επιπλέον χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων.

Προφανώς, εκτός των ανωτέρω, εφαρμόστηκαν βασικές σχεδιαστικές αρχές που σχετίζονται με την λειτουργικότητα των προσομοιώσεων (πλήθος συσκευών με διαφορετικές οθόνες και επεξεργαστική ισχύ) και την αισθητική της εμφάνισής τους. Αξίζει να σημειωθεί πως για τις ανάγκες της 3ης συνθήκης, όλες οι προσομοιώσεις απεικονίζουν πραγματικά πειράματα (αν και πολλές από τις παραμέτρους που ελέγχονται θα ήταν αδύνατο να παρατηρηθούν). Κατά συνέπεια, η διαδικασία λήψης μετρήσεων πλησιάζει περισσότερο την πραγματική πειραματική λήψη όπου απαιτείται κατανόηση του μοντέλου του πειράματος και αποδοχή ή απόρριψη μετρήσεων με βάση αυτό μεταξύ άλλων διαδικασιών (όπως η ανάγκη σχηματισμού διαγράμματος).

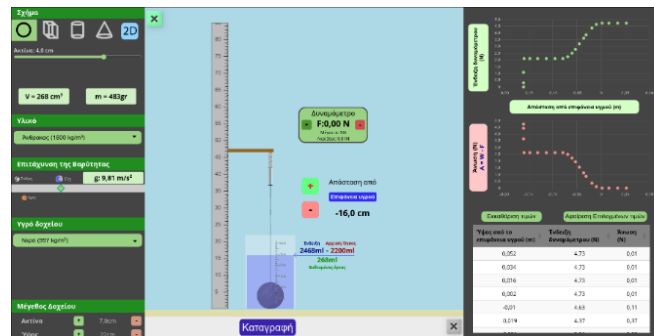
## Αποτελέσματα

### Προσομοίωση Άνωσης

Η βιβλιογραφία γύρω από το φαινόμενο της άνωσης αναδεικνύει πλήθος εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την άνωση και την πλευση (Yin et al., 2008). Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται η πεποίθηση ότι η πλευση εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα ή την οριοθέτηση του σώματος, η ιδέα ότι η άνωση εμφανίζεται μόνο σε σώματα που επιπλέουν, ή ότι το υλικό του σώματος καθορίζει την άνωση που αυτό δέχεται.

Από την επισκόπηση διαθέσιμων προσομοιώσεων διαπιστώθηκε ότι οι περισσότερες επικεντρώνονται στο φαινόμενο της πλευσης, προσφέροντας επιλογές σχετικά με το υλικό του σώματος και το είδος του υγρού. Ορισμένες συνδέουν την πλευση με τη δύναμη της άνωσης, ενώ ελάχιστες περιλαμβάνουν ένα υποθετικό πείραμα που θα μπορούσε να αναδείξει την άνωση ως υπολογισμένη και όχι άμεσα μετρήσιμη δύναμη. Ένα σημαντικό κενό που εντοπίστηκε είναι η απουσία διερεύνησης της επίδρασης της ποσότητας του υγρού (ή του μεγέθους του δοχείου) στη δύναμη της άνωσης.

**Εικόνα 1.** Στιγμιότυπο από την προσομοίωση της άνωσης με μετρήσεις που λήφθηκαν



Το μοντέλο της παρούσας προσομοίωσης βασίζεται στο κλασικό πείραμα βύθισης ενός σώματος σε υγρό, με χρήση νήματος και δυναμομέτρου. Το μοντέλο στηρίζεται σε αριθμητική ολοκλήρωση τύπου Euler των βασικών εξισώσεων που περιγράφουν τη βαρύτητα, την άνωση ως συνάρτηση του βυθισμένου όγκου, την τάση του νήματος, τη δύναμη και την εκτόπιση του ελατηρίου του δυναμομέτρου (καθώς και την απόσβεσή του), αλλά και τις δυνάμεις αντίστασης του αέρα και του υγρού. Το αποτέλεσμα είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα, ικανό να υπολογίσει την άνωση έμμεσα, μέσω της ένδειξης του δυναμομέτρου, διατηρώντας παράλληλα τη δυνατότητα τροποποίησης πολλαπλών παραμέτρων (όπως ο όγκος του σώματος, η επιτάχυνση της βαρύτητας, το είδος του υγρού, το υλικό και το σχήμα του αντικειμένου, καθώς και το βάθος βύθισής του).

Μέσα από τα ενσωματωμένα διαγράμματα, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να καταγράψουν μετρήσεις σύμφωνα με τις υποθέσεις τους, επιλέγοντας κάθε φορά την εξαρτημένη και ανεξάρτητη μεταβλητή από προκαθορισμένες λίστες επιλογών. Τα

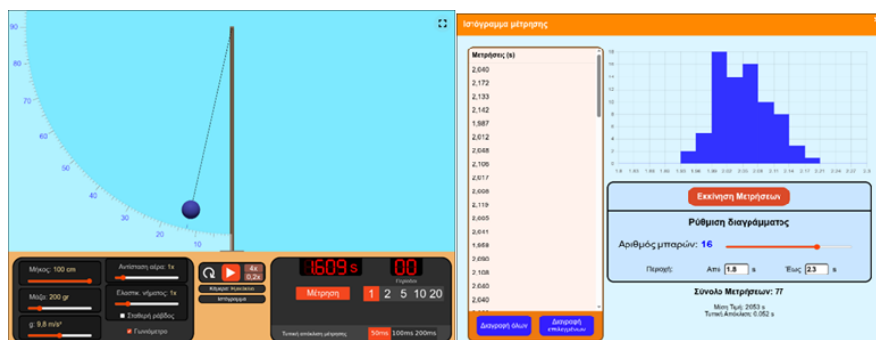
σφάλματα στις μετρήσεις περιορίζονται κυρίως στην ακρίβεια των οργάνων, καθώς για τη βέλτιστη λήψη δεδομένων είναι σημαντικό οι μαθητές να επιλέξουν το κατάλληλο δυναμόμετρο με βάση την απαιτούμενη ευαισθησία. Τέλος, καλούνται να αναλογιστούν το μέγεθος της άνωσης και τη μέθοδο υπολογισμού της, ώστε π.χ. να απορρίψουν μετρήσεις κατά τις οποίες το σώμα ακουμπά στον πυθμένα (οπότε και η αντίδραση του εδάφους ενδέχεται να ερμηνεύεται εσφαλμένα ως άνωση με την κοινή εξίσωση).

### Προσομοίωση Ταλάντωσης Εκκρεμούς

Στην περίπτωση του απλού εκκρεμούς, οι εξαρτώμενες μεταβλητές είναι γνωστές εκ των προτέρων. Λόγω της απλότητας του μοντέλου, αλλά και της δυνατότητας μαθηματικής του επέκτασης, έχουν αναπτυχθεί προσομοιώσεις με πλήθος δυνατοτήτων, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη όλες τις πιθανές παραμέτρους, ακόμη και μη νομοτελειακές όπως η επίδραση της μάζας.

Το μοντέλο της παρούσας προσομοίωσης βασίζεται σε αριθμητική ολοκλήρωση τύπου Euler για τη δύναμη της βαρύτητας και την αντίδραση του νήματος ή της ράβδου πάνω στο σώμα, με κατάλληλες αρχικές και συνοριακές συνθήκες, ώστε να αποδοθούν σωστά όλα τα συμμετέχοντα μεγέθη. Η κίνηση του νήματος υπολογίζεται με ολοκλήρωση τύπου Verlet, προκειμένου να επιτυγχάνεται ρεαλιστική αναπαράσταση της κίνησής του.

**Εικόνα 2.** Στιγμιότυπο από την προσομοίωση του εκκρεμούς με ιστόγραμμα μετρήσεων



Η ιδιαιτερότητα αυτής της προσομοίωσης έγκειται στο γεγονός ότι προστίθενται μεταβλητές οι οποίες δεν εντοπίστηκαν σε άλλες προσομοιώσεις που αναζητήθηκαν. Αν και αυτές δεν αντανακλούν απαραίτητα εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών (καθώς πιθανόν δεν τις έχουν ακόμη διανοηθεί) παρ' όλα αυτά αυξάνουν τις δυνατότητες διερεύνησης. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, τη δυνατότητα αντικατάστασης του νήματος με σταθερή ράβδο, μετατρέποντας έτσι το εκκρεμές σε φυσικό, ενώ η ρύθμιση της μάζας της ράβδου προστίθεται ως νέα μεταβλητή. Ακόμη και στο εκκρεμές με νήμα, το μοντέλο επιτρέπει τη διερεύνηση της επίδρασης της ελαστικότητας του νήματος. Επιπλέον, μέσω αυτής της υλοποίησης μπορούν να παρατηρηθούν φαινόμενα που συνδέουν την προσομοίωση με την εμπειρική πραγματικότητα, όπως η αδυναμία εκτέλεσης ταλάντωσης για αρχική γωνία μεγαλύτερη των  $90^\circ$ , εξαιτίας του ότι το νήμα ασκεί δύναμη μόνο όταν είναι σε τάση.

Κυρίαρχο χαρακτηριστικό της προσομοίωσης είναι η ενσωμάτωση σφαλμάτων στις μετρήσεις. Σε κάθε αυτοματοποιημένη μέτρηση προστίθεται σφάλμα με καθορισμένη τυπική απόκλιση, την οποία ο μαθητής μπορεί να ρυθμίσει. Στο ενσωματωμένο γράφημα παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας ιστογράμματος των μετρήσεων, με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συστηματικότητα των τυχαίων σφαλμάτων, καθώς και την παρουσίαση στρατηγικών αντιμετώπισής τους, όπως η χρήση μέσου όρου πολλαπλών μετρήσεων.

Η εν λόγω προσομοίωση του εκκρεμούς προσφέρει μια εξαιρετική ευκαιρία για την εισαγωγή των μαθητών στη θεωρία των σφαλμάτων, προσεγγίζοντας την ιδέα ότι το σφάλμα

αποτελεί αναπόσπαστο αλλά διαχειρίσιμο στοιχείο της πειραματικής διαδικασίας στον πραγματικό κόσμο.

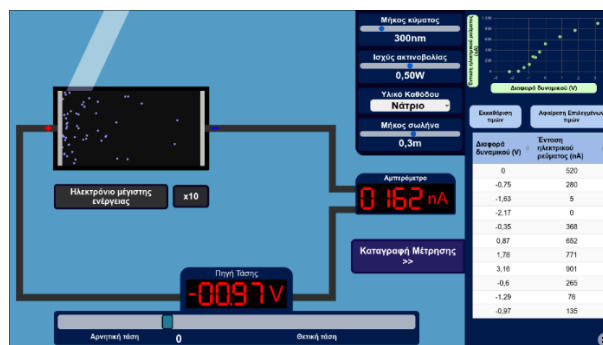
### Προσομοίωση Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου

Όπως και στην περίπτωση του εκκρεμούς, έτσι και στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο παρατηρείται σχετική πληρότητα στις υφιστάμενες προσομοιώσεις, τόσο ως προς τις μεταβλητές που διαχειρίζονται όσο και ως προς τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών που επιχειρούν να προσεγγίσουν. Μια πιθανή βελτίωση εντοπίζεται στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται ο ρόλος της ηλεκτρικής τάσης στο κύκλωμα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (Önder & Önder, 2018). Σύμφωνα με σχετικές μελέτες, πολλοί μαθητές αντιλαμβάνονται την τάση ως παράγοντα που προκαλεί το ρεύμα στο κύκλωμα, χωρίς να κατανοούν τη σύνδεσή της με τη συλλογή των φωτοηλεκτρονίων και, κυρίως, με την έννοια της τάσης αποκοπής ( $V_{stop}$ ), που αντιστοιχεί στη μέγιστη κινητική ενέργεια των εξερχόμενων ηλεκτρονίων.

Το προτεινόμενο μοντέλο επιχειρεί να αντιμετωπίσει αυτή την δυσκολία προσομοιώνοντας με ρεαλιστικότερο τρόπο την κίνηση των ηλεκτρονίων εντός του σωλήνα, αξιοποιώντας την πολλαπλή αναπαράσταση για να καταστεί σαφέστερη η έννοια της τάσης και ο ρόλος της στο πείραμα. Επιπλέον, προστίθεται η δυνατότητα μεταβολής του μήκους του σωλήνα, παρέχοντας στους μαθητές τη δυνατότητα, μέσα από διερευνητική προσέγγιση, να διαπιστώσουν ότι η τάση αποκοπής ( $V_{stop}$ ) εξαρτάται αποκλειστικά από την ενέργεια των ηλεκτρονίων και όχι από τη γεωμετρία του συστήματος (δηλαδή το μήκος του σωλήνα).

Για τον σκοπό αυτό, η κίνηση των ηλεκτρονίων προσομοιώνεται ως κίνηση φορτισμένων σωματιδίων εντός ηλεκτρικού πεδίου, με στόχο τη φυσικότερη απεικόνιση της δυναμικής του φαινομένου. Η προσομοίωση περιλαμβάνει πολλαπλά ηλεκτρόνια, των οποίων η συλλογική κίνηση συνδέεται με την ένδειξη του αμπερομέτρου. Με αυτόν τον τρόπο προσεγγίζεται πιο ρεαλιστικά η συμπεριφορά του ρεύματος στο κύκλωμα, με την εμφάνιση μικρής τυχαιότητας στις μετρήσεις, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη λήψη πολλαπλών μετρήσεων ώστε να σχηματιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η χαρακτηριστική καμπύλη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

**Εικόνα 3.** Στιγμιότυπο από την προσομοίωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου



### Συμπεράσματα

Με τη σχεδίαση των τριών προσομοιώσεων επιτεύχθηκαν οι βασικοί στόχοι που σχετίζονται με την ομαλή ενσωμάτωση των απαραίτητων χαρακτηριστικών, στο βαθμό που αυτό ήταν εφικτό για κάθε περίπτωση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ιδιαίτερα κρίσιμη θεωρείται η αξιολόγηση των προσομοιώσεων, η οποία προγραμματίζεται για μελλοντικό στάδιο, δεδομένης της σημασίας που αποδίδεται στη διαδικασία επαναληπτικού σχεδιασμού (iterative design) στην ανάπτυξη εκπαιδευτικών προσομοιώσεων.

Παράλληλα, όπως επίσης έχει επισημανθεί, οι προβληματισμοί σχετικά με την πιθανή αύξηση της πολυπλοκότητας των προσομοιώσεων παραμένουν. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, οι σχεδιαστικές επιλογές ενδέχεται να αναθεωρηθούν, όπως έχει ήδη συμβεί σε κάποιο βαθμό. Σε κάθε περίπτωση, αναμένεται να εξαχθούν χρήσιμα

συμπεράσματα· ακόμη και στην περίπτωση όπου η εφαρμογή αποδειχθεί απαιτητική, καθώς η θεωρία του γνωστικού φορτίου μπορεί να προσφέρει πολύτιμες κατευθύνσεις για μελλοντικές βελτιώσεις, για παράδειγμα, την δυνατότητα της αξιοποίησης των ίδιων προσομοιώσεων σε πολλαπλά επίπεδα βάθους, με στόχο τη σταδιακή μείωση του νοητικού φορτίου των μαθητών.

## Βιβλιογραφία

- Adams, W. K., Reid, S., LeMaster, R., McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., & Wieman, C. E. (2008). A study of educational simulations part I-Engagement and learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397-419. <https://www.learntechlib.org/p/24230>
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 023108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D., (Επιμ.). (2010). *Discrete-event system simulation* (5<sup>η</sup> εκδ). Prentice Hall. ISBN: 978-0136062127
- Cooper, G. (1990). Cognitive load theory as an aid for instructional design. *Australasian Journal of Educational Technology*, 6(2). <https://doi.org/10.14742/ajet.2322>
- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- Garett, R., Chiu, J., Zhang, L., & Young, S. D. (2016, July 1). *A literature review: Website Design and User engagement*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4974011/>
- Lancaster, K., Moore, E. B., Parson, R., & Perkins, K. K. (2013). Insights from Using PhET's Design Principles for Interactive Chemistry Simulations. Στο *ACS symposium series* (σσ. 97–126). <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1142.ch005>
- Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96(1), 21–47. <https://doi.org/10.1002/sc.20463>
- Önder, F., & Önder, E. B. (2018). Teaching Photoelectric Effect with Simulation Supported Inquiry Based Activity. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19(3), 57–73. <https://doi.org/10.17679/inuefd.318023>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Srisawasdi, N., & Panjaburee, P. (2015). Exploring effectiveness of simulation-based inquiry learning in science with integration of formative assessment. *Journal of Computers in Education*, 2(3), 323–352. <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0037-y>
- Teo, H., Oh, L., Liu, C., & Wei, K. (2003). An empirical study of the effects of interactivity on web user attitude. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(3), 281–305. [https://doi.org/10.1016/s1071-5819\(03\)00008-9](https://doi.org/10.1016/s1071-5819(03)00008-9)
- van Berkum, J.J.A., & de Jong, T. (1991). Instructional environments for simulations. *Education and Computing*, 6(3–4), 305–358. [https://doi.org/10.1016/0167-9287\(91\)80006-J](https://doi.org/10.1016/0167-9287(91)80006-J)
- Wen, C.-T., Liu, C.-C., Chang, H.-Y., Chang, C.-J., Chang, M.-H., Fan Chiang, S.-H., Yang, C.-W., & Hwang, F.-K. (2020). Students' guided inquiry with simulation and its relation to school science achievement and scientific literacy. *Computers & Education*, 149, 103830. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103830>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682-683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Wong, A., Leahy, W., Marcus, N., & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. *Learning and Instruction*, 22(6), 449–457. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.004>
- Yin, Y., Tomita, M. K., & Shavelson, R. J. (2008). Diagnosing and Dealing with Student Misconceptions: Floating and Sinking. *Science Scope*, 31(8), 34–39. <https://eric.ed.gov/?id=EJ790452>