

# 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°

**ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

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

Στην μνήμη της Άννας Σπύριου



12-14 Απριλίου 2025

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

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

synedrio2025.enepht.gr



**Ζωντανεύοντας τη Φυσική του Einstein στη Σχολική Τάξη: Διερευνητικό Εργαστήριο για Εκπαιδευτικούς**

*Γεωργία Βακάρου, Γεώργιος Στύλος, Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης*

doi: [10.12681/codiste.9822](https://doi.org/10.12681/codiste.9822)

## Ζωντανεύοντας τη Φυσική του Einstein στη Σχολική Τάξη: Διερευνητικό Εργαστήριο για Εκπαιδευτικούς

Γεωργία Βακάρου<sup>1</sup>, Γεώργιος Στύλος<sup>2</sup> και Κωνσταντίνος Θ. Κώσης<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Υποψήφια Διδασκίσσα, <sup>2</sup>Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, <sup>3</sup>Καθηγητής

<sup>1,2,3</sup>Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

<sup>1</sup>[g.vakarou@uoi.gr](mailto:g.vakarou@uoi.gr)

### Περίληψη

Ο εκσυγχρονισμός της διδασκαλίας της Φυσικής και η ενσωμάτωση εννοιών της σύγχρονης φυσικής στο σχολικό πρόγραμμα αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα τις τελευταίες δεκαετίες, στοχεύοντας στην προετοιμασία επιστημονικά εγγράμματων πολιτών. Το παρόν εργαστήριο απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς που επιδιώκουν να ενσωματώσουν τη σύγχρονη φυσική στην τάξη τους μέσω βιωματικής και διερευνητικής διδασκαλίας. Οι συμμετέχοντες/ουσες θα επιμορφωθούν στο πώς να παρουσιάζουν πολύπλοκες έννοιες της θεωρίας του Einstein και της κβαντικής φυσικής με τρόπο προσιτό και κατανοητό στους μαθητές/τριες. Το εργαστήριο ακολουθεί μια διερευνητική μεθοδολογία όπου οι εκπαιδευτικοί διατυπώνουν ερωτήματα, αναπτύσσουν υποθέσεις και συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία πειραματισμού, όπως αναμένεται να κάνουν και σε μελλοντικό στάδιο οι μαθητές/τριες. Αυτό το μοντέλο μάθησης ενισχύει την κριτική σκέψη και προωθεί την επιστημονική ανακάλυψη με μια προσέγγιση που γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ θεωρητικής φυσικής και σχολικής διδασκαλίας.

**Λέξεις κλειδιά:** Βιωματική διδασκαλία, Διερευνητική μάθηση, Σύγχρονη Φυσική, Φυσική του Einstein

## Bringing Einsteinian Physics to Life in Classroom: An Inquiry-Based Workshop for Educators

Georgia Vakarou<sup>1</sup>, Georgios Stylos<sup>2</sup>, and Konstantinos T. Kotsis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD Candidate, <sup>2</sup>Laboratory Teaching Staff, <sup>3</sup>Professor

<sup>1,2,3</sup>Department of Primary Education, University of Ioannina

<sup>1</sup>[g.vakarou@uoi.gr](mailto:g.vakarou@uoi.gr)

### Abstract

The modernization of the teaching of Physics and the integration of concepts of modern physics in the school curriculum has been a particularly important issue in recent decades, aiming at the preparation of scientifically literate citizens. This workshop is aimed at teachers who seek to integrate modern physics into their classroom through experiential and exploratory teaching. Participants will be trained in how to present complex concepts of Einstein theory and quantum physics in a way that is accessible and understandable to students. The workshop follows an exploratory methodology where teachers formulate questions, develop hypotheses and actively participate in the experimentation process, as students are expected to do at a future stage. This learning model enhances critical thinking and promotes scientific discovery with an approach that bridges the gap between theoretical physics and school teaching.

**Keywords:** Einsteinian Physics, Experiential teaching, Inquiry based learning, Modern Physics

## Εισαγωγή

Η φυσική του Einstein, που περιλαμβάνει τις θεωρίες της σχετικότητας και της κβαντικής μηχανικής, έχει επαναπροσδιορίσει την κατανόησή μας για το σύμπαν, από τη φύση του χωροχρόνου έως τη συμπεριφορά της ύλης σε υποατομικό επίπεδο (Βακάρου & Κώτσας, 2023). Παρόλο που αυτές οι θεωρίες αποτελούν θεμέλια της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας, η διδασκαλία τους στη γενική εκπαίδευσης παραμένει περιορισμένη, με τα περισσότερα προγράμματα σπουδών να επικεντρώνονται σχεδόν αποκλειστικά στη Νευτώνεια Φυσική (Blair & Kaur, 2022).

Ένα από τα κύρια εμπόδια στην ενσωμάτωση της Σύγχρονης Φυσικής στην τάξη είναι η αφηρημένη φύση των σχετικών εννοιών, όπως η καμπύλωση του χωροχρόνου και η κυματοσωματιδιακή δυϊκή φύση της ύλης. Οι μαθητές συχνά αναπτύσσουν παρανοήσεις λόγω της δυσκολίας οπτικοποίησης αυτών των φαινομένων (Kaur et al., 2020). Επιπλέον, οι περισσότεροι μαθητές μπορεί να έρθουν αντιμέτωποι με ιδέες που ανατρέπουν προηγούμενες εκπαιδευτικές εμπειρίες, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει γνωστική σύγκρουση (Pitts et al., 2014). Σύμφωνα, όμως, με πρόσφατες έρευνες (Adams et al., 2021 · Alstein et al., 2020 · Kaur et al., 2020), η εισαγωγή σύγχρονων εννοιών της Φυσικής, ακόμη και σε μικρές ηλικιακά σχολικές τάξεις, έχει σημαντικά οφέλη για τους μαθητές/τριες. Μέσα από δραστηριότητες με προσομοιωτές και διαδραστικές επιδείξεις, οι μαθητές αποκτούν ουσιαστική κατανόηση των σύγχρονων φυσικών εννοιών, δείχνοντας μεγάλο ενδιαφέρον και ενθουσιασμό για τη φυσική (Blair & Kaur, 2022 · Foppoli et al., 2019).

Η διδασκαλία αφηρημένων και θεωρητικά απαιτητικών εννοιών, όπως αυτών της γενικής σχετικότητας και της κβαντικής φυσικής, καθίσταται σημαντικά πιο αποτελεσματική όταν συνοδεύεται από τη χρήση κατάλληλων διδακτικών μοντέλων και αναλογιών (Kaur et al., 2020). Τα μοντέλα λειτουργούν ως γνωστικά εργαλεία που επιτρέπουν στους μαθητές να «μεταφράσουν» πολύπλοκα φαινόμενα σε κατανοητές και χειροπιαστές αναπαραστάσεις (Passmore et al., 2014). Η χρήση μοντέλων και αναλογιών συμβάλλει στην ενίσχυση της ενεργητικής συμμετοχής και του εννοιολογικού εμπλουτισμού των μαθητών. Όπως επισημαίνουν οι Kersting & Steier (2018), τα οπτικά μοντέλα ενισχύουν τη γνωστική προσβασιμότητα στις ενότητες της Σύγχρονης Φυσικής, καθώς διευκολύνουν την κατασκευή νοητικών εικόνων. Επιπλέον, τα μοντέλα επιτρέπουν στους μαθητές να συνδέσουν καθημερινές εμπειρίες με αφηρημένες επιστημονικές έννοιες, γεφυρώνοντας έτσι το χάσμα ανάμεσα στον βιωματικό και τον επιστημονικό κόσμο (Vakarou et al., 2024). Η αναλογία μεταξύ του καμπυλωμένου ελαστικού υφάσματος και της καμπύλωσης του χωροχρόνου, παρόλο που απαιτεί κριτική χρήση, προσφέρει ένα προσιτό πρώτο βήμα κατανόησης της βαρύτητας (Choudhary et al., 2020).

Η θετική απήχηση τέτοιων προσεγγίσεων έχει επιβεβαιωθεί σε πλήθος ερευνών, όπου διαπιστώνεται αυξημένο ενδιαφέρον, ενθουσιασμός και αισθητή εννοιολογική πρόοδος στους μαθητές που εκτέθηκαν σε μαθησιακά περιβάλλοντα με χρήση μοντέλων και αναλογιών (Blair et al., 2024 · Dua et al., 2020 · Vakarou et al., 2024). Σε αυτό το πλαίσιο, η στοχευμένη ενσωμάτωση κατάλληλων μοντέλων στη διδακτική πρακτική δεν αποτελεί απλώς βοηθητικό εργαλείο, αλλά αναπόσπαστο συστατικό μιας σύγχρονης, βιωματικής και αποτελεσματικής διδασκαλίας της Φυσικής του Einstein. Ταυτόχρονα, η διερευνητική μάθηση αναγνωρίζεται ως μια από τις πλέον αποτελεσματικές διδακτικές προσεγγίσεις για την εισαγωγή πολύπλοκων εννοιών στη σχολική τάξη. Ενθαρρύνει τη διατύπωση υποθέσεων, τον πειραματισμό και την αναστοχαστική σκέψη, προωθώντας όχι μόνο τη γνωστική κατανόηση, αλλά και τη θετική στάση των μαθητών/τριών απέναντι στη φυσική (Blair et al., 2024 · Mulyeni et al., 2024). Όπως αναφέρουν οι Mulyeni et al. (2024), η προσέγγιση αυτή εμπλέκει τους μαθητές/τριες στη διατύπωση υποθέσεων, τον σχεδιασμό πειραμάτων και την ανάλυση δεδομένων, ενισχύοντας έτσι την ενεργή συμμετοχή τους στη μαθησιακή διαδικασία.

Η ανάγκη, επομένως, για μια ανανεωμένη διδακτική προσέγγιση που ενσωματώνει βιωματική μάθηση, επιστημονική διερεύνηση και κριτικό στοχασμό είναι επιτακτική. Το παρόν εργαστήριο στοχεύει να προσεγγίσει τη σύγχρονη φυσική ως εργαλείο εννοιολογικής

διερεύνησης, αξιοποιώντας μοντέλα, πειράματα και διαλογική ανάλυση, ώστε να ενισχύσει τις παιδαγωγικές ικανότητες των εκπαιδευτικών στην προσπάθεια ένταξης της Φυσικής του Einstein στην τάξη.

## Μεθοδολογία

### Στόχοι του Εργαστηρίου

Το εργαστήριο είχε ως στόχο την:

- Κατανόηση και παρουσίαση σύγχρονων εννοιών: Επιμόρφωση των εκπαιδευτικών σχετικά με την καμπύλωση του χωροχρόνου και την κβαντική εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.
- Εφαρμογή διερευνητικής μεθοδολογίας: Εκπαίδευση στη δημιουργία ερωτημάτων, διατύπωση υποθέσεων και διεξαγωγή πειραμάτων με μαθητές/τριες.
- Ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης: Ενίσχυση της ικανότητας των εκπαιδευτικών να καθοδηγούν μαθητές/τριες μέσω σύνθετων επιστημονικών εννοιών με τρόπο που να ενθαρρύνει την κριτική ανάλυση.

### Συμμετέχοντες/ουσες

Συμμετέχοντες/ουσες της έρευνας ήταν δώδεκα (12) εκπαιδευτικοί Α'βάθμιας και Β'βάθμιας εκπαίδευσης (8 αγόρια και 4 κορίτσια) εκ των οποίων οι 7 δίδασκαν σε σχολεία την ακαδημαϊκή χρονιά 2024 – 2025.

### Περιγραφή Δραστηριοτήτων:

Η εργαστηριακή άσκηση με θέμα τη Φυσική του Einstein περιλάμβανε τα κάτωθι:

#### 1η ενότητα: Εισαγωγή στις Έννοιες

Στην αρχή, έλαβε χώρα μια σύντομη παρουσίαση των βασικών εννοιών της καμπύλωσης του χωροχρόνου και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, με στόχο να αποκτήσουν οι συμμετέχοντες μια αρχική θεωρητική κατανόηση των φαινομένων αυτών.

#### 2η ενότητα: Πειραματισμός

Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε ομάδες και τους διαμοιράστηκαν Φύλλα Εργασίας (Φ.Ε.) διερευνητικού τύπου. Στη συνέχεια ξεκίνησε η πραγματοποίηση των πειραμάτων.

#### Πείραμα για την καμπύλωση του χωροχρόνου

Η δραστηριότητα με τον προσομοιωτή χωροχρόνου είχε ως στόχο την εισαγωγή των εκπαιδευτικών (και κατ' επέκταση των μαθητών) στην έννοια της καμπύλωσης του χωροχρόνου, όπως αυτή διατυπώνεται από τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Το μοντέλο προσομοιώνει πώς η μάζα ενός αντικειμένου παραμορφώνει το χωροχρονικό συνεχές και επηρεάζει τις τροχιές άλλων σωμάτων – μια έννοια που αντικαθιστά την κλασική περιγραφή της βαρύτητας ως δύναμης. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην διεξαγωγή του πειράματος ήταν η Διαδραστική Επίδειξη (Interactive Lecture Demonstration - ILD) με στόχο τη συμμετοχή όλων των εκπαιδευτικών.

Η πειραματική διάταξη αποτελούνταν από ένα ελαστικό lycra σεντόνι διαστάσεων 1.5 m x 1.5 m. Η βάση του τραπέζιού ήταν ένα ορθόγωνο που κατασκευάστηκε από pvc σωλήνες. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν 8 pvc valsir σωλήνες Φ4 20 cm, 4 pvc valsir σωλήνες Φ4 30 cm, 4 ενώσεις ταφ και 8 γωνίες  $\frac{3}{4}$ . Για τα πόδια στήριξης της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν 4 pvc valsir σωλήνες Φ4 80 cm που ενώθηκαν με τα ταφ, και για την στερέωση του σεντονιού πάνω στο «τραπέζι» χρειάστηκαν σφιγκτήρες ελατηρίου. Τονίζεται ότι το ύφασμα πρέπει να είναι τεντωμένο στο έπακρο ώστε να μην υπάρχουν παρανοήσεις καμπύλωσης του χωροχρόνου εξ αρχής. Αυτό διότι, το ελαστικό σεντόνι αναπαριστά τον χωροχρόνο οπότε πάνω του μελετήθηκαν οι κινήσεις διαφόρων βόλων γύρω από ένα βαρύ αντικείμενο (βαρίδι)

που προκαλούσε σημαντική καμπύλωση. Οι μπίλιες ήταν διαφορετικών διαστάσεων και μαζών (Dua et al., 2020 · Forpoli et al., 2019 · Kaur et al., 2017 · Vakarou et al., 2024).

**Εικόνα 1.** Ο προσομοιωτής του χωροχρόνου



Αρχικά, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να διατυπώσουν προβλέψεις σχετικά με την εξέλιξη του πειράματος και να συζητήσουν τις υποθέσεις τους σε μικρές ομάδες. Στη συνέχεια, έγινε επίδειξη του πειράματος με τη χρήση του προσομοιωτή του χωροχρόνου. Συγκεκριμένα, βαράκια διαφορετικών μαζών τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να δημιουργήσουν καμπύλωση στον «χώρο», και άλλα μικρά μπαλάκια αφέθηκαν να κινηθούν σε διαφορετικές τροχιές. Έπειτα, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν και οι ίδιοι το πείραμα, καταγράφοντας τις παρατηρήσεις τους και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του πειράματος με τις αρχικές τους προβλέψεις. Οι ίδιοι άφησαν μπίλιες να κυλήσουν από διαφορετικές κατευθύνσεις γύρω από την «λακκούβα» που δημιουργούσε το βαρίδι, ώστε να παρατηρήσουν ελικοειδείς ή παραβολικές τροχιές, οι οποίες θυμίζουν την τροχιακή κίνηση πλανητών γύρω από αστέρες. Σε μερικές περιπτώσεις, τα μπαλάκια φάνηκε να «παγιδεύονται» και σπειροειδώς να συγκλίνουν προς το κέντρο, δίνοντας την αίσθηση βαρυτικής έλξης ή σχηματισμού μαύρης τρύπας. Ακολούθησε μια συζήτηση αναστοχασμού, όπου οι ομάδες συνέδεσαν τις παρατηρήσεις με τη θεωρία της σχετικότητας και την έννοια της καμπύλωσης του χωροχρόνου.

Παρόλο που η συγκεκριμένη προσομοίωση προσφέρει ένα ιδιαίτερα προσιτό μέσο για την εισαγωγή των εκπαιδευομένων στις βασικές έννοιες της Γενικής Σχετικότητας, είναι κρίσιμο να καταστεί σαφές ότι το μοντέλο αυτό δεν αναπαριστά με πλήρη ακρίβεια τα φυσικά φαινόμενα που επιχειρεί να εξηγήσει. Για τον λόγο αυτό, διεξήχθη μια αναστοχαστική συζήτηση στο τέλος της δραστηριότητας, όπου επισημάνθηκε ότι η κινηματική των αντικειμένων πάνω στο ύφασμα υπακούει στην κλασική μηχανική. Η «έλξη» που παρατηρείται προκαλείται από την επιρροή της γήινης βαρύτητας στα σώματα πάνω στο ύφασμα, και όχι από καμπύλωση χωροχρόνου με την έννοια που περιγράφεται στη θεωρία του Einstein (Kaur et al., 2017 · Kersting & Steier, 2018). Ακόμα, η γεωμετρία του μοντέλου είναι δισδιάστατη, ενώ η θεωρητική καμπύλωση που περιγράφει η σχετικότητα αφορά τετραδιάστατο χωροχρόνο. Επίσης, η βαρύτητα που βιώνουμε στην επιφάνεια της Γης δεν είναι αποτέλεσμα έντονης στρέβλωσης του χωροχρόνου. Σε τοπική κλίμακα, όπως αναφέρουν και οι Kersting & Steier (2018), ο χωροχρόνος θεωρείται σχεδόν επίπεδος, με αποτέλεσμα τα φαινόμενα που εξηγούνται μέσω γενικής σχετικότητας να εκδηλώνονται κυρίως σε αστροφυσική κλίμακα. Η συζήτηση αυτών των περιορισμών εντάσσεται στην ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού, ενθαρρύνοντας τους συμμετέχοντες να κατανοήσουν τη φύση των επιστημονικών μοντέλων ως εργαλεία προσέγγισης – και όχι απεικόνισης – της φυσικής πραγματικότητας.

Για την ακριβέστερη κατανόηση της καμπύλωσης του χωροχρόνου και την αποφυγή των περιορισμών του ελαστικού υφάσματος, προτάθηκαν και εναλλακτικές αναπαραστάσεις. Για παράδειγμα, οι ψηφιακές προσομοιώσεις ή η χρήση διαγραμμάτων σε μεγαλύτερες ηλικιακά σχολικές τάξεις, όπου ο χρόνος αναπαρίσταται ως κατακόρυφος άξονας μπορεί να προσφέρει μια πιο ακριβή εικόνα της επίδρασης της βαρύτητας στις τροχιές των σωμάτων (Alstein et al., 2020).

### Πειράματα για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Οι δραστηριότητες που σχετίζονταν με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είχαν ως στόχο την εννοιολογική προσέγγιση της κυματοσωματιδιακής φύσης του φωτός. Σύμφωνα με τη θεωρία του Einstein, το φως αποτελείται από φωτόνια – πακέτα ενέργειας – και υπό προϋποθέσεις, η πρόσκρουση φωτονίων σε μια μεταλλική επιφάνεια μπορεί να οδηγήσει στην εκπομπή ηλεκτρονίων (Vakarou et al., 2024). Το φαινόμενο αυτό δεν μπορούσε να εξηγηθεί επαρκώς με βάση την κυματική θεωρία του φωτός, και η επεξήγησή του άνοιξε τον δρόμο για τη θεμελίωση της Κβαντομηχανικής (Forroli et al., 2019). Για τη διδασκαλία της έννοιας αυτής χρησιμοποιήθηκε ένα αναλογικό μοντέλο βασισμένο στη χρήση παιχνιδιών τύπου Nerf (Kaur et al., 2017). Οι αφρώδεις σφαίρες που εκτοξεύονται από τα Nerf όπλα αναπαριστούν τα φωτόνια, ενώ μπαλάκια ring rong τοποθετημένα μέσα σε ρηχά μπολ παριστάνουν τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται δεσμευμένα στην επιφάνεια ενός μετάλλου. Τα ίδια τα μπολ συμβολίζουν τις μεταλλικές επιφάνειες, στις οποίες τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε «πηγάδια δυναμικού», δηλαδή ενεργειακά επίπεδα που απαιτούν μια ελάχιστη ποσότητα ενέργειας για να απελευθερωθούν.

Η δραστηριότητα ξεκίνησε με τους συμμετέχοντες να εκτοξεύουν τις αφρώδεις σφαίρες (φωτόνια) προς τα μπολ. Εφόσον η ενέργεια της σφαίρας είναι επαρκής – κάτι που εξαρτάται από την απόσταση βολής και τον τύπο της σφαίρας – το ring rong μπορεί να «εκτοξευθεί» έξω από το μπολ, προσομοιώνοντας την αποκόλληση ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο. Αντιθέτως, όταν η ενέργεια είναι ανεπαρκής, το μπαλάκι παραμένει μέσα στο μπολ, ακόμη και αν δέχεται πολλές συνεχόμενες «βολές». Το στοιχείο αυτό αναδεικνύει με σαφήνεια τη βασική ιδέα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου: η εκπομπή ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη συχνότητα (δηλαδή την ενέργεια) των φωτονίων και όχι από την ένταση ή τον αριθμό τους.

**Εικόνα 2.** Ανάλογο φωτοηλεκτρικού φαινομένου με τη χρήση Nerf gun



Κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας μεταβλήθηκαν διάφορες παράμετροι, όπως η απόσταση πυροδότησης (συνδέεται με την ένταση του φωτός) και η χρήση μπολ διαφορετικού βάθους (προσομοιώνει μέταλλα με διαφορετικό «δυναμικό εξόδου»). Στο τέλος της δραστηριότητας, διεξήχθη καθοδηγούμενη συζήτηση – όπως προτείνεται να γίνεται και με μαθητές – ώστε να διασαφηνιστούν οι έννοιες της συχνότητας, της ενέργειας και της ανεξαρτησίας του φαινομένου από την ένταση του φωτός. Άλλωστε, σύμφωνα με την

βιβλιογραφία (Kaur et al., 2017), το πείραμα αυτό συνδυάζει τη βιωματική μάθηση με την απλότητα ενός αναλογικού μοντέλου που είναι κατανοητό και προσαρμόσιμο σε διαφορετικές ηλικιακές βαθμίδες. Επιπλέον, ενισχύει τη συμμετοχική και διερευνητική μάθηση, δημιουργώντας τις συνθήκες για ουσιαστική εμπλοκή και επιστημονική σκέψη, ακόμη και σε μαθητές που δεν έχουν προηγούμενη επαφή με την κβαντική φυσική.

Στην τρίτη φάση του εργαστηρίου, οι συμμετέχοντες προχώρησαν στην κατασκευή και πειραματική χρήση ενός αυτοσχέδιου συστήματος επίδειξης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, εμπνευσμένου από την πρόταση του Beehler (2009). Στη διάταξη αξιοποιήθηκαν απλά υλικά καθημερινής χρήσης (αλουμινένιο κουτί αναψυκτικού, χριστουγεννιάτικη γιρλάντα, λάμπα απολύμανσης UV-C) προκειμένου να καταστήσει προσιτή τη μελέτη της επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην εκπομπή ηλεκτρονίων από μεταλλική επιφάνεια. Αναλυτικότερα, η επιφάνεια ενός αλουμινένιου κουτιού (τύπου αναψυκτικού) τρίφτηκε με λεπτό γυαλόχαρτο ώστε να αφαιρεθεί το προστατευτικό χρώμα και να εμφανιστεί το καθαρό αλουμίνιο. Στο σώμα του κουτιού συνδέθηκε λεπτό μεταλλικό σύρμα, στο άκρο του οποίου αναρτήθηκαν κομμάτια από πλαστική γιρλάντα, η οποία λειτουργούσε ως δείκτης φορτίου – ουσιαστικά ως ένα αυτοσχέδιο ηλεκτροσκόπιο. Η διάταξη στηρίχθηκε πάνω σε μονωτικό υλικό (κύπελλο από γιαούρτι) ώστε να εμποδιστούν διαρροές φορτίου προς το έδαφος.

Η φόρτιση του συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω επαφής με σωλήνα PVC, που είχε προηγουμένως φορτιστεί αρνητικά μέσω τριβής με μάλλινο ύφασμα. Η άκρη του σωλήνα πλησίαζε το κουτί, προκαλώντας την απόκλιση των λωρίδων της γιρλάντας λόγω απώθησης μεταξύ τους (ένδειξη συσσώρευσης ηλεκτρικού φορτίου). Τονίζεται ότι για την επιτυχία του πειράματος είναι πολύ σημαντικό το αλουμινένιο κουτί να έχει τριφτεί πολύ καλά με σύρμα ακριβώς πριν την φόρτισή του, διότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν το μέταλλο. Ομοίως, σημαντικό ρόλο έχει και η υγρασία του χώρου με βάση την οποία κρίνεται αν οι λωρίδες της γιρλάντας θα καταφέρουν να συγκρατήσουν το αρνητικό φορτίο, μετά την απομάκρυνση του σωλήνα PVC. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε σειρά πειραματικών δοκιμών αποφόρτισης του συστήματος με τη χρήση πηγής φωτός UV-C (~254 nm). Η UV-C ακτινοβολία επιλέχθηκε επειδή έχει αρκετή ενέργεια ανά φωτόνιο ώστε να εκτοξεύσει ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του μετάλλου – κάτι που δεν επιτυγχάνεται με φως μικρότερης συχνότητας, όπως το ορατό ή το UV-A. Όταν η πηγή ενεργοποιήθηκε κοντά στην απογυμνωμένη μεταλλική επιφάνεια, παρατηρήθηκε σταδιακή χαλάρωση των λωρίδων της γιρλάντας, υποδηλώνοντας αποφόρτιση λόγω εκπομπής ηλεκτρονίων – απόδειξη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Αναφέρεται ότι το ίδιο πείραμα ελέγχθηκε και με αυθεντικά εργαστηριακά ηλεκτροσκόπια, με τα αποτελέσματα να είναι όμοια.

**Εικόνα 3.** Πείραμα φωτοηλεκτρικού φαινομένου με αυτοσχέδιο ηλεκτροσκόπιο και λάμπα UV-C



Η συγκεκριμένη δραστηριότητα κατέδειξε με απλό και εντυπωσιακό τρόπο τον εξαρτημένο από τη συχνότητα χαρακτήρα της εκπομπής ηλεκτρονίων, όπως προβλέπεται από την κβαντική εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Μέσα από καθοδηγούμενη συζήτηση, οι συμμετέχοντες/ουσες συνέδεσαν τις παρατηρήσεις τους με την έννοια της ενέργειας του φωτονίου  $E=h\cdot f$ , ενώ στα πλαίσια της συζήτησης προτάθηκε και η παρεμβολή γυάλινου φραγμού μεταξύ λάμπας και αλουμινένιου κουτιού ώστε να παρατηρηθεί ότι δεν συμβαίνει αποφόρτιση και να ενισχυθεί η κατανόηση ότι το γυαλί απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία. Η προσέγγιση αυτή, που συνδυάζει χειροπιαστή κατασκευή, εννοιολογική διερεύνηση και πειραματική επαλήθευση, ενισχύει τη βιωματική κατανόηση των θεμελιακών αρχών της κβαντικής φυσικής και καθιστά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο διδακτικά προσβάσιμο ακόμα και σε περιβάλλοντα χωρίς εξειδικευμένο εργαστηριακό εξοπλισμό.

## Συμπεράσματα

Το παρόν εργαστήριο απέδειξε στην πράξη ότι η διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της Σύγχρονης Φυσικής, όπως η καμπύλωση του χωροχρόνου και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, μπορεί να υλοποιηθεί με επιτυχία στην τάξη, εφόσον αξιοποιούνται παιδαγωγικά κατάλληλα μοντέλα, αναλογίες και διερευνητικές δραστηριότητες. Η μετάβαση από τη θεωρητική πολυπλοκότητα στη βιωματική κατανόηση επιτεύχθηκε μέσω της εμπλοκής των εκπαιδευομένων σε φυσικές προσομοιώσεις, πειράματα βασισμένα στην αναπαράσταση και δραστηριότητες με υψηλό γνωστικό και αισθητηριακό δυναμικό.

Οι συμμετέχοντες/ουσες δεν λειτούργησαν απλώς ως δέκτες πληροφορίας, αλλά ως ενεργοί ερμηνευτές επιστημονικών φαινομένων: διατύπωσαν υποθέσεις, παρατήρησαν, αμφισβήτησαν, αναστοχάστηκαν και τελικά κατέληξαν σε εννοιολογικά συμπεράσματα που ευθυγραμμίζονται με το σύγχρονο επιστημονικό παράδειγμα. Η χρήση μοντέλων όπως το ελαστικό ύφασμα για τη σχετικότητα ή τα ανάλογα για την κατανόηση της φύσης του φωτός ενίσχυσε τη νοηματοδότηση των αφηρημένων εννοιών και διαμόρφωσε μια περισσότερο εποικοδομητική προσέγγιση της φυσικής.

Η διερευνητική φύση του εργαστηρίου, βασισμένη στη λογική της επιστημονικής μεθοδολογίας, προσέφερε ένα μαθησιακό πλαίσιο στο οποίο η φυσική παρουσιάζεται ως δυναμική και ερμηνευτική διαδικασία, όχι ως σύνολο απόλυτων και αμετάβλητων νόμων. Επιπλέον, η ενεργή εμπλοκή των εκπαιδευτικών συνέβαλε στη μεταγνώση και στην καλλιέργεια διδακτικών δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική διαχείριση σύγχρονων εννοιών στη σχολική τάξη.

Συνολικά, η συγκεκριμένη δραστηριότητα λειτουργεί ως πρότυπο σύγχρονης διδακτικής παρέμβασης που συνδυάζει βιωματική μάθηση, εννοιολογική σαφήνεια και κριτικό στοχασμό. Αποτελεί ένα ισχυρό παράδειγμα του πώς η διδασκαλία της σύγχρονης φυσικής μπορεί να περάσει στη δράση, ενεργοποιώντας τη σκέψη, τη φαντασία και τη βαθύτερη κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών της Επιστήμης.

## Βιβλιογραφία

Βακάρου, Γ., & Κώτσης, Κ. Θ. (2023). Εισάγοντας την έννοια της βαρύτητας κατά τον Einstein στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση: Σύγκριση επιδόσεων ανάλογα με το φύλο των μαθητών. Στο Κ. Θ. Κώτσης, Γ. Στύλος, Γ. Βακάρου, Λ. Γαβρίλας, & Δ. Πανάγου (Επιμ.), *Πρακτικά 13ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σ. 150–156). Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης και Ηλεκτρονικού Περιεχομένου.  
<https://doi.org/10.12681/codiste.5541>

Adams, K., Dattatri, R., Kaur, T. & Blair, D. (2021). Long-term impact of a primary school intervention on aspects of Einsteinian physics. *Physics Education*, 56, 055031. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac12a9>

- Alstein, P., Krijtenburg-Lewerissa, K., & van Joolingen, W.R. (2020). Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 17, 023101.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023101>
- Beehler, A. (2009). *Simple photoelectric effect*. Apparatus Competition, AAPT Summer Meeting, Ann Arbor, MI. Ανακτήθηκε στις 28/11/2024 από:  
<https://www.aapt.org/programs/contests/upload/beeehler.pdf>
- Blair, D., & Kaur, J. (2022). Einstein-First: Modernising School Science. *Proceedings of the IUPAP International Conference on Physics Education*, σ. 33. ICPE 2022 5-9 December 2022, ISBN: 978-1-74210-532-1.
- Dua, Y. S., Blair, D. G., Kaur, T., & Choudhary, R. K. (2020). Can Einstein's theory of general relativity be taught to Indonesian high school students? *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(1), 50–58.  
<https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.22468>
- Foppoli, A., Choudhary, R., Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., & Zadnik, M. (2018). Public and teacher response to Einsteinian physics in schools. *Physics Education*, 54(1), 015001.  
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae4a4>
- Kaur T, Blair D, Moschilla J and Zadnik M (2017). Teaching Einsteinian physics at schools: part 2, models and analogies for quantum physics. *Physics Education*, 52. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa83e1>
- Kaur, T., Blair, D., Stannard, W., Treagust, D., Venville, G., Zadnik, M., Mathews, W. & Perks, D. (2020). Determining the Intelligibility of Einsteinian Concepts with Middle School Students. *Research in Science Education*, 50, 2505–2532. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9791-y>
- Kersting, M., & Steier, R. (2018). Understanding curved spacetime: The role of the rubber sheet analogy in learning general relativity. *Science & Education*, 27(7–8), 593–623.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-018-9997-4>
- Mulyeni, T., Jamaris, M., & Supriyati, Y. (2024). Improving basic science process skills through inquiry-based approach in learning science for early elementary students. *Journal of Turkish Science Education*, 16(2), 187-201. Ανακτήθηκε στις 28/11/2024 από:  
<https://www.tused.org/index.php/tused/article/view/89/51>
- Passmore, C., Svoboda Gouvea, J., & Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. Στο M. R. Matthews (Επιμ.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, σσ. 1171–1202. Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_36)
- Pitts, M., Venville, G., Blair, D., & Zadnik, M. (2014). An exploratory study to investigate the impact of an enrichment program on aspects of Einsteinian physics on Year 6 students. *Research in Science Education*, 44(3), 363–388. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9386-6>
- Vakarou, G., Stylos, G., & Kotsis, K. T. (2024). Probing students' understanding of Einsteinian physics concepts: A study in primary and secondary Greek schools. *Physics Education*, 59(2), 025004.  
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad1768>