

1. ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Τίτλος διδακτικού σεναρίου

Το Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

Δημιουργός/οί

Αργύριος Πάσχος, Σοφία Σωτηρίου, Διονύσιος Τρικοίλης

Βαθμίδα - Τάξη

Γ Προσανατολισμού

Εμπλεκόμενες γνωστικές περιοχές και συμβατότητα με ΠΣ

- Γνωστικό αντικείμενο: Φυσική Προσανατολισμού
- Θεματικό πεδίο: Σύγχρονη Φυσική και Τεχνολογία
- Θεματική ενότητα: 4.2: Από την Κλασική Φυσική στην Πρώιμη Κβαντική Θεωρία
- Προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα όπως αναφέρονται στο ΠΣ:

Οι μαθητές/τριες είναι σε θέση να:

- Περιγράφουν το πείραμα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και να σχεδιάζουν το αντίστοιχο κύκλωμα.
- Αντιπαραβάλλουν τα πειραματικά δεδομένα για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με τις προβλέψεις της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας
- Αναγνωρίζουν τη σύγκρουση της κλασικής θεωρίας με τα πειραματικά δεδομένα
- Αξιοποιούν την υπόθεση του Einstein για την πλήρη εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και τη χάραξη των χαρακτηριστικών του καμπυλών

Ενδεικτικές δραστηριότητες από το ΠΣ:

- Εκτελούν πειράματα ή/και παρακολουθούν και ερμηνεύουν και διερευνούν video ή/και προσομοίωση για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου
- Αξιοποιούν αριθμητικά δεδομένα από την εκτέλεση που πειράματος του φωτοηλεκτρικού φαινομένου για να υπολογίσουν τη σταθερά h
- Γράφουν εργαστηριακή αναφορά με θέμα τον πειραματισμό πάνω στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

- Σχέση με άλλες θεματικές ενότητες ή/και θεματικά πεδία του γνωστικού αντικείμενου ή/και

άλλα γνωστικά αντικείμενα:

- Χημεία: Φάσματα εκπομπής και απορρόφησης
- Τεχνολογικές εφαρμογές: Φωτοπολλαπλασιαστές, Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Χρονική διάρκεια

2 διδακτικές ώρες αν υλοποιηθεί σύμφωνα με την πρόταση της σύγχρονης διδασκαλίας.

3 διδακτικές ώρες αν υλοποιηθεί ακολουθώντας την πρόταση της ασύγχρονης-σύγχρονης διδασκαλίας

2. ΣΚΕΠΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟΥ (και πιθανές αντιλήψεις μαθητών/τριών για το προς μελέτη θέμα) – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ/ ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο διδάσκεται αναλυτικά σε πολλά εκπαιδευτικά προγράμματα (παραδείγματα: Διεθνές Απολυτήριο IB (International Baccalaureate Organization, 2014), A-Level

(Pearson - Edexcel, 2016), AP Physics 2 (College Board, 2020)). Η διδασκαλία του είναι σημαντική για τρεις λόγους:

- 1) Από άποψη σημασίας στην ιστορία της εξέλιξης των ιδεών της Φυσικής αποτέλεσε το δεύτερο (μετά την εξήγηση του φάσματος της ακτινοβολίας μέλανος σώματος από τον Planck) σημείο απόκλισης από την κλασική Φυσική στην πορεία προς την κβαντική Φυσική (Tsokos, 2014).
- 2) Αποτελεί ένα φαινόμενο όπου οι παραδοχές της κλασικής Φυσικής οδηγούν σε αδυναμία ερμηνείας των επιμέρους χαρακτηριστικών του φαινομένου. Αυτό δείχνει την αναγκαιότητα εισαγωγής της έννοιας του φωτονίου και με ομαλό τρόπο ο μαθητής εισέρχεται στις κβαντικές έννοιες.
- 3) Προσφέρεται, ίσως περισσότερο από κάθε άλλο φαινόμενο σε ολόκληρη τη Φυσική, για διερευνητική μέθοδο, αφού περιλαμβάνει τουλάχιστον 6 διαφορετικές πιθανές διερευνήσεις (ανεξάρτητη-εξαρτημένη μεταβλητή):
Α) Ένταση φωτός – Φωτόρρευμα, Β) Μήκος κύματος φωτός – τάση αποκοπής, Γ) Τάση – Φωτόρρευμα, Δ) Μήκος κύματος φωτός- εμφάνιση ή όχι φωτορεύματος, Ε) Είδος μετάλλου- Συχνότητα κατωφλίου, ΣΤ) οτιδήποτε (μέταλλο, μήκος κύματος) – χρόνος έναρξης εκπομπής φωτοηλεκτρονίων, κλπ

Στα περισσότερα λύκεια υπάρχουν ήδη συσκευές φωτοηλεκτρικού φαινομένου, σχεδιασμένες με βάση τη χρήση τους για διερευνητική μέθοδο.

Η έννοια του φωτός είναι ιδιαίτερα συγκεχυμένη στο μυαλό των μαθητών και «η επιστημονική εικόνα για το φως δεν είναι κοινή ανάμεσα στους μαθητές» (Driver, Squires, Rushworth, & Valerie, 1994) (σελ 128-130). Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στο πρόγραμμα σπουδών έχει το ενδιαφέρον πως έρχεται μετά την κυματική, όπου υπάρχει μεγάλη προσπάθεια να κατανοήσουν οι μαθητές την έννοια του φωτός ως κύματος (μέσω των ιδιοτήτων του) και όταν πλέον, ιδανικά, το έχουν καταφέρει, θα πρέπει να κατανοήσουν πως η εικόνα αυτή δεν είναι πλήρης, αλλά το φως έχει και σωματιδιακές ιδιότητες.

Σε σχέση με τις απαιτήσεις από πλευράς σεναρίου και τον χρόνο υλοποίησης, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως το σενάριο αυτό εντάσσεται στο τέλος της Φυσικής Προσανατολισμού της Γ΄ τάξης, συνεπώς οι μαθητές θα είναι ιδιαίτερα εξοικειωμένοι με την επιστημονική εκπαιδευτική μέθοδο, την ομαδική εργασία, τις εργαστηριακές δραστηριότητες και τη σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς.

3. ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ

Γνώσεις:

- Συχνότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Σχέση μήκους κύματος συχνότητας $c = \lambda \cdot f$
- Επιτάχυνση φορτισμένου σωματιδίου σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο ($q \cdot V = K$)
- Λειτουργία απλών κυκλωμάτων και δημιουργία ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου σε κύκλωμα συνεχούς ρεύματος.

Δεξιότητες:

- Καταγραφή πειραματικών δεδομένων
- Σχεδιασμός γραφικών παραστάσεων
- Αναπαράσταση και συνυπολογισμός πειραματικών αβεβαιοτήτων
- Υπολογισμός κλίσης από γραφική παράσταση (ευθεία), λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες

4. ΣΚΟΠΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ – ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σκοπός σεναρίου

Η εξοικείωση με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και η αναγνώριση της σημασίας του για την εισαγωγή της κβαντικής Φυσικής

Προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα

Ως προς τις γνώσεις:

Οι μαθητές/μαθήτριες να

- Περιγράφουν το πείραμα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και να σχεδιάζουν το αντίστοιχο κύκλωμα.
- Αντιπαραβάλλουν τα πειραματικά δεδομένα για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με τις προβλέψεις της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας
- Αναγνωρίζουν τη σύγκρουση της κλασικής θεωρίας με τα πειραματικά δεδομένα
- Αξιοποιούν την υπόθεση του Einstein για την πλήρη εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και τη χάραξη των χαρακτηριστικών του καμπυλών

Ως προς τις δεξιότητες:

Οι μαθητές/μαθήτριες να

- Εφαρμόζουν τη διερευνητική μέθοδο
- Εργάζονται ομαδικά με ελάχιστη επίβλεψη
- Διατυπώνουν συμπεράσματα Φυσικής χρησιμοποιώντας σωστή ορολογία και βελτιώνοντας την γλωσσική τους καλλιέργεια
- Εφαρμόζουν κριτική-συνθετική σκέψη για την ερμηνεία, αποδοχή ή και απόρριψη των υποθέσεών τους

Ως προς τις στάσεις:

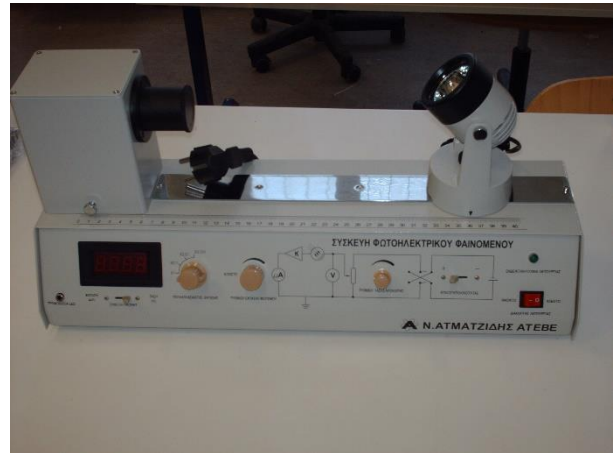
Οι μαθητές/μαθήτριες να

- Αναγνωρίζουν πως οι Φυσικές Επιστήμες εξελίσσονται και η απόρριψη υποθέσεων είναι ένα βήμα σε αυτό
- Συσχετίζουν την εξέλιξη της επιστήμης με κοινωνικά και πολιτικά δεδομένα της εποχής

5. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΙΔΙΑΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ

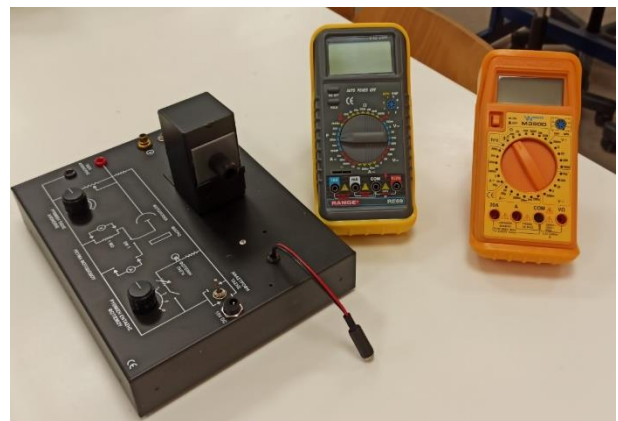
(ενδεικτικά: οργάνωση ίδιας τάξης, εκπαιδευτικό υλικό, αξιοποίηση εποπτικών μέσων, λογισμικών και υπηρεσιών των Τεχνολογιών Ίδιας Πληροφορίας και των Επικοινωνιών, ...)

- Οι μαθητές/τριες εργάζονται σε ομάδες. Στο πλαίσιο της διαφοροποίησης, το κριτήριο σύστασης των ομάδων είναι να είναι μικτές και ως προς τη γνωσιακή ετοιμότητα και ως προς τις δεξιότητες έτσι ώστε τα γνωστικά οφέλη των μελών να βελτιώνονται μέσω της αλληλεπίδρασης κατά τη διάρκεια της εργασίας.
- Κάθε ομάδα έχει μία συσκευή φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Τα φύλλα 1 και 2 είναι γραμμένα για τη συσκευή φωτοηλεκτρικού φαινομένου της ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ Α.Τ.Ε.Β.Ε. , το φύλλο 3 είναι γραμμένο για τη συσκευή φωτοηλεκτρικού φαινομένου των ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ Ε.Π.Ε.



Εικόνα 1: Η συσκευή της ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ Α.Τ.Ε.Β.Ε.

Σε περίπτωση έλλειψης συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου από το σχολικό εργαστήριο οι μαθητές/τριες είναι δυνατόν να εργασθούν μέσω εικονικού εργαστηρίου, οπότε οι ομάδες θα χρειασθούν υπολογιστή ή ταμπλέτα με πρόσβαση στο διαδίκτυο ή υπολογιστή εκπαιδευτικού με προβολικό μηχάνημα και πρόσβαση στο διαδίκτυο για την εκτέλεση της ίδιας προσομοίωσης και την λήψη μετρήσεων.



Εικόνα 2: Η συσκευή των ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ Ε.Π.Ε.

Στο διαδίκτυο υπάρχουν πολλά σχετικά εικονικά εργαστήρια. Προτείνονται ενδεικτικά: οι διευθύνσεις:

- <https://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=195&sim=840&cnt=4>
- [https://javalab.org/en/photoelectric effect 2 en/](https://javalab.org/en/photoelectric%20effect%20en/)
- <https://phet.colorado.edu/el/simulations/photoelectric>

6. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

(περιγραφή διδακτικής μεθοδολογίας, π.χ. διερευνητική, ομαδοσυνεργατική, βιωματική, κ.λπ. προσέγγιση, διδακτικές τεχνικές και διδακτικά εργαλεία, πλαίσιο και τεχνικές αξιολόγησης των μαθητών)

►1η προσέγγιση σύγχρονης διδασκαλίας με χρήση της συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ Α.Ε.

Η διδακτική μεθοδολογία περιλαμβάνει μάθηση με διερεύνηση, σε ομαδοσυνεργατικό πλαίσιο (στάδια 1, 4-10)

Περιλαμβάνει επίσης ευθεία (συστηματική) διδασκαλία (στάδια 2, 3). Απαιτείται (και εδώ βρίσκεται η ανάγκη για, περιορισμένη έστω, ευθεία διδασκαλία) την παρουσίαση της λειτουργίας του βασικού

ηλεκτρικού κυκλώματος της συσκευής (για να γίνει αισθητή η επιτάχυνση ή επιβράδυνση των φωτοηλεκτρονίων, η έννοια της τάσης αποκοπής, κλπ) και κάποιων ορισμών.

Καλές πρακτικές που περιλαμβάνονται (όπως αναφέρονται στο Γενικό μέρος του οδηγού εκπαιδευτικού):

- Έναυσμα ενδιαφέροντος με ερώτημα (στάδιο 1)
- Επεξεργασία πραγματικών τιμών μέτρησης (στάδια 7, 10) (βέβαια έχουν ληφθεί μετά από πραγματική εργαστηριακή δραστηριότητα)

Από τα εργαλεία διδακτικών προσεγγίσεων όπως έχουν οργανωθεί στο ΠΣ περιλαμβάνονται:

- Α. Πολλαπλές αναπαραστάσεις (κύκλωμα σχεδιασμένο, κύκλωμα πραγματικό, γραφικές παραστάσεις, δεδομένα σε πίνακες, μαθηματικοί τύποι). Στο στάδιο 2 μπορεί επίσης να αναπαρασταθεί ο μεταλλικός δεσμός με προσομοίωση της **μικροσκοπικής** εικόνας του, ενώ στο στάδιο 9 να αναπαρασταθεί η εξήγηση του φαινομένου με προσομοίωση της **μικροσκοπικής** εικόνας του.
- Β. Λύση προβλήματος: Τόσο στο στάδιο 10, όσο και στο στάδιο 11. Μέρος του σταδίου 11 (χρόνος εκπομπής) μπορεί να δοθεί και ως ανοιχτό πρόβλημα.
- Γ. Πειραματισμός – Εργαστήριο
- Δ. Ψηφιακές προσεγγίσεις: Τα διαγράμματα (στάδιο 7) και ο υπολογισμός του h από την κλίση μπορούν να γίνουν με τη χρήση λογισμικών (π.χ. απλό λογισμικό λογιστικού φύλλου τύπου Google Sheets έως πολύπλοκα εξειδικευμένα προγράμματα – τα οποία όμως κοστίζουν – όπως το LoggerPro)

►2η προσέγγιση σύγχρονης διδασκαλίας με χρήση της συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου των ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Η διδακτική μεθοδολογία που προτείνεται είναι η διερευνητική μέθοδος με αξιοποίηση ομάδων εργασίας. Οι ομάδες εργάζονται στο εργαστήριο Φυσικής όπου αξιοποιούν την συσκευή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Γίνεται εναλλαγή των επιπέδων προσέγγισης από το επίπεδο της τάξης ώστε να διατυπώνονται απορίες, συμπεράσματα και παρατηρήσεις στις ομάδες εργασίας ώστε τα μέλη της ομάδας να αλληλεπιδρούν, να αποφασίζουν και να επιλύουν προβλήματα. Το επίπεδο καθοδήγησης εκ μέρους του/της εκπαιδευτικού εξαρτάται κατά πολύ από τον βαθμό εξοικείωσης των μαθητών/τριών με αυτήν την διδακτική μεθοδολογία, στη φάση όμως χρήσης της συσκευής είναι καλό να γίνουν από όλες τις ομάδες σωστά οι απαραίτητες ρυθμίσεις.

Σαν έναυσμα ενδιαφέροντος προτείνεται να επιχειρηθεί μία συζήτηση στο επίπεδο της τάξης με στοιχεία της ιστορίας των επιστημών έτσι ώστε οι μαθητές/τριες να προβληματισθούν για τις κοινωνικοπολιτικές συνθήκες της εποχής του 1900 που συσχετίζονται με την εξέλιξη της επιστήμης.

Κατά τον πειραματισμό είναι καλύτερα η επεξεργασία των μετρήσεων να γίνει με χρήση του Excel, ώστε να ξεπεραστούν δυσκολίες που σχετίζονται με τα αριθμητικά δεδομένα και η γραφική παράσταση που θα παραχθεί να έχει όσο το δυνατόν μικρότερες αποκλίσεις.

Αξιολόγηση

Με δεδομένο πως το τελικό μέρος της διδασκαλίας απαιτεί τη σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς η αξιολόγηση θα γίνει μέσω αυτής. Το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί είναι ρουμπρίκα η οποία θα έχει γνωστοποιηθεί στους μαθητές. Η αξιολόγηση αυτή θα έχει διαμορφωτικό ρόλο αλλά θα συμμετάσχει και στην τελική (αθροιστική) αξιολόγηση (Payne, 2014).

Τέλος πέραν των προτάσεων για σύγχρονη διδασκαλία προτείνεται μία εναλλακτική προσέγγιση που περιέχει τόσο σύγχρονη όσο και ασύγχρονη φάση.

7. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

►1η προσέγγιση σύγχρονης διδασκαλίας με χρήση της συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ Α.Ε.

Σε παρενθέσεις αναφέρονται οι στρατηγικές μάθησης και συναφείς δεξιότητες, καθώς και η αντιστοιχία με τα μεθοδολογικά βήματα όπως περιγράφονται στη δομή του ΠΣ. Στα στάδια 2 έως 9 οι μαθητές καταγράφουν ό,τι χρειάζονται στο ΦΕ.

1^η διδακτική ώρα

- 1) Έναυσμα ενδιαφέροντος: Πως λειτουργούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (επίδειξη φωτογραφίας ή, ακόμα καλύτερα, μικρού φωτοβολταϊκού). (1.1, I, II) (βήμα 1^ο: δεξιότητες παρατηρητικότητα, ανάπτυξη ενδιαφερόντων) (5 λεπτά)
- 2) Ορισμός του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον διδάσκοντα και ονομασία των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων ως «φωτοηλεκτρονίων». Σύνδεση με μεταλλικό δεσμό (παρουσία ελεύθερων ηλεκτρονίων μεταλλικού πλέγματος– θάλασσα ελεύθερων ηλεκτρονίων) (1.4, II) (5 λεπτά)
- 3) Επίδειξη λειτουργίας συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου (αρχικά χωρίς το καπάκι της ανόδου, ώστε να φαίνεται το μέταλλο αυτής). Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην έννοια της τάσης αποκοπής (σύνδεση με επιβράδυνση ηλεκτρονίων σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο). Εξήγηση της λειτουργίας του κυκλώματος. (1.4, II) (5 λεπτά)
- 4) Παρουσίαση δυνατών διερευνήσεων , ώστε κάθε ομάδα να επιλέξει την δική της διερεύνηση (1.2, IV, V) (5 λεπτά)
 - A) Ένταση φωτός – Φωτόρρευμα,
 - B) Μήκος κύματος ή συχνότητα φωτός – τάση αποκοπής,
 - Γ) Τάση – Φωτόρρευμα,
 - Δ) Μήκος κύματος φωτός- εμφάνιση ή όχι φωτορεύματος,
 - Ε) Είδος μετάλλου- Συχνότητα κατωφλίου,ΣΤ) οτιδήποτε(μέταλλο, μήκος κύματος) – χρόνος έναρξης εκπομπής φωτοηλεκτρονίων, κλπ
- 5) Διατύπωση υπόθεσης από κάθε ομάδα με βάση τις προβλέψεις της κλασικής Φυσικής (1.1 II) (τα στάδια 2, 3, 4, 5 χρησιμοποιούνται για να υλοποιηθεί το 2^ο βήμα: δεξιότητες ομαδικότητα, επικοινωνία, διαίσθηση, αναστοχασμός, αναλυτική σκέψη) (5 λεπτά)
- 6) Διεξαγωγή των διερευνήσεων από τις ομάδες και κατασκευή αντίστοιχων γραφικών παραστάσεων (εξαρτημένη-ανεξάρτητη μεταβλητή κάθε ομάδας) (επίπεδο διερεύνησης 3, σελ. 49 ΠΣ ή καθοδηγούμενη διερεύνηση) (2.1, I, II, III, IV, 2.2) (βήμα 3^ο: δεξιότητες συνεργατικότητα, δημιουργικότητα, εφευρετικότητα, ανάληψη πρωτοβουλιών, χρήση εργαλείων, χρήση οργάνων, λήψη μετρήσεων, έλεγχος μεταβλητών, διαχείριση χρόνου) (15 λεπτά)
- 7) Γραφικές παραστάσεις και συμπεράσματα κάθε ομάδας (3.1, I, III, 3.2, IV) (εργασία στο σπίτι)

2η διδακτική ώρα

- 8) Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων (ολομέλεια) και σύγκριση με προβλέψεις κλασικής Φυσικής για κάθε διερεύνηση (3.2, V) (10 λεπτά)
- 9) Παρουσίαση λύσης του Einstein (υπόθεση εκπομπής και απορρόφησης φωτός σε μορφή φωτονίων) και κρίση κάθε ομάδας για το κατά πόσο τα αποτελέσματά της εξηγούνται από την λύση αυτή. Η εξίσωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου παρουσιάζεται εδώ. (**3.2 V, 3.3 V**) (τα στάδια 7, 8, 9 υλοποιούν το **4^ο βήμα**: δεξιότητες λήψη αποφάσεων, κριτική σκέψη, διατύπωση παρατηρήσεων, διατύπωση συμπερασμάτων / θεωρίας, αυτοεκτίμηση, αυτοπεποίθηση) (10 λεπτά)
- 10) Εργαστηριακή άσκηση: Σε περίπτωση ύπαρξης αρκετού χρόνου γίνεται υπολογισμός της σταθεράς h από τα αποτελέσματα της ομάδας με τη διερεύνηση B (3.2 IV) (**βήμα 5^ο**: συνδυαστική σκέψη, αφαιρετική σκέψη, αξιοποίηση προτύπων/μοντέλων) (20 λεπτά και ολοκλήρωση στο σπίτι)
- 11) Επίλυση απλών υπολογιστικών ασκήσεων (συχνότητα κατωφλίου, μέγιστη κινητική ενέργεια φωτοηλεκτρονίου, κλπ). Εργασία: Υπολογισμός χρόνου εκπομπής αν ίσχυε το κλασικό μοντέλο για το φως. (Εργασία στο σπίτι)

►2η προσέγγιση σύγχρονης διδασκαλίας με χρήση της συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου των ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

1η διδακτική ώρα

1. Έναυσμα ενδιαφέροντος: Μέσω συζήτησης γίνεται αναφορά στην αξία του πειραματισμού και της θεωρητικής επιβεβαίωσης. Είναι δυνατόν βέβαια ο πειραματισμός να έπεται του θεωρητικού δημιουργήματος. Επίσης σχολιάζονται τα αδιέξοδα της κλασικής φυσικής και η ανάπτυξη της κβαντικής θεωρίας που άλλαξε την εικόνα για τον κόσμο. Τέλος γίνεται αναφορά σε βιογραφικά στοιχεία των Lenard και Einstein σε σχέση με τις κοινωνικές καταστάσεις της εποχής.
2. Γίνεται αναφορά στο τι είναι φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και ζητείται από τους/τις μαθητές/τριες να προτείνουν έναν πειραματικό σχεδιασμό για την μελέτη του. Διαπιστώνεται η αναγκαιότητα της ανάστροφης συνδεσμολογίας για την εξαγωγή συμπερασμάτων.
3. Παρουσιάζεται η σχηματική αναπαράσταση της συσκευής που θα χρησιμοποιήσουν και παρουσιάζεται ο πειραματικός σχεδιασμός του Lenard. Διατυπώνεται το προς επίλυση πρόβλημα και επιχειρείται οι μαθητές/τριες να σχεδιάσουν μία διαδικασία για να μετρήσουν την σταθερά του Planck.

2η διδακτική ώρα

Οι μαθητές/τριες ρυθμίζουν την συσκευή φωτοηλεκτρικού φαινομένου σύμφωνα με τις οδηγίες και πραγματοποιούν τις μετρήσεις. Αφού καταχωρήσουν τις μετρήσεις στο Excel, εξάγουν τη γραφική παράσταση που θα τους βοηθήσει για τον υπολογισμό του h .

Ολοκληρώνουν με το στάδιο της εφαρμογής όπου μέσω απαντήσεων σε ερωτήσεις γίνεται αποσαφήνιση σε πολλά σημεία που παρουσιάζουν δυσκολίες για το συγκεκριμένο φαινόμενο. Οι ερωτήσεις μπορούν να δοθούν και σαν εργασία στο σπίτι, εφόσον δεν υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος.

8. ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ - ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ (π.χ. στην περίπτωση συνθηκών εξ αποστάσεως εκπαίδευσης)

- Τα στάδια 2 και 3 μπορούν να έχουν πραγματοποιηθεί από τους μαθητές πριν έρθουν στην τάξη (σε μία εν μέρει αντεστραμμένη τάξη)
- Το σενάριο μπορεί να εκτελεστεί θαυμάσια και από απόσταση (με χρήση της προσομοίωσης του PHET και ομάδων στην όποια πλατφόρμα σύγχρονης εκπαίδευσης χρησιμοποιείται)
- Σε προχωρημένες ομάδες παρουσιάζονται εφαρμογές με χρήση eV.

9. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

Οι μαθητές θα χρειαστούν κατά εκτίμηση 1 ώρα προετοιμασίας στο σπίτι.

Τα κύρια σημεία της προσέγγισης αυτής είναι:

- Έναυσμα ενδιαφέροντος
- Εξοικείωση με τον μηχανισμό του **φωτοηλεκτρικού φαινομένου**.
- Γνωριμία με την πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φαινομένου αυτού. Καταγραφή βασικών μερών.
- Προβληματισμός για την ερμηνεία του φαινομένου
- Εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Quiz αυτοαξιολόγησης

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

College Board. (2020). *AP Physics 2: Algebra based exam description*. College Board.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Valerie, W.-R. (1994). *Making Sense of Secondary Science*. Oxon: Rutledge.

International Baccalaureate Organization. (2014). *Diploma Programme Physics guide*. IBO.

Payne, S. (2014, December). Can formative assessment be used to support summative assessment and summative assessment for formative purposes? *The Bridge: Journal of Educational Research-Informed Practice*, 1(2), 21-37.

Pearson - Edexcel. (2016). *Level 3 Advanced GCE in Physics (9PHO)*. Pearson Education Limited.

Tsokos, K. (2014). *Physics for the IB Diploma, 6th Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.

Τραχανάς, Σ. (2002). *Κβαντομηχανική Ι*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
Επιστημονικές Επιχειρήσεις Ε.Π.Ε. (χχ). *Συσκευή φωτοηλεκτρικού φαινομένου PES01*. Εγχειρίδιο Οδηγιών χρήσης

Virtual Amrita Laboratories (2022). Photoelectric effect. 14-06-2022.

<https://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=195&sim=840&cnt=5>

10 . ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φύλλα εργασίας (που θα δοθούν σε μαθητές και μαθήτριες)

- 1) Φύλλο εργασίας για καταγραφή μετρήσεων, υποθέσεων, κλπ. στη διάρκεια της πειραματικής δραστηριότητας
- 2) Φύλλο εργασίας με υπολογιστικές ασκήσεις
- 3) Ανάθεση σύνταξης εργαστηριακής αναφοράς με βάση τα αποτελέσματα της ομάδας με τη διερεύνηση Β

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1: ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Στόχοι:

- Να περιγράψουμε το πείραμα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και να σχεδιάζουμε το αντίστοιχο κύκλωμα.
- Να αντιπαραβάλλουμε τα πειραματικά δεδομένα τα πειραματικά δεδομένα για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο με τις προβλέψεις της κλασικής ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και να αναγνωρίζουμε τη σύγκρουση μεταξύ τους.
- Να εφαρμόσουμε την επιστημονική εκπαιδευτική μέθοδο (φαινόμενο, υπόθεση, πείραμα, συμπέρασμα)

Διάγραμμα κυκλώματος συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου



Θεωρία / Ορισμοί:

1. Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:

2. Φωτόρευμα:

3. Τάση αποκοπής και σχέση της με κινητική ενέργεια ηλεκτρονίου:

Μεταβλητές που μπορούμε να διερευνήσουμε. Κυκλώνουμε μία ανεξάρτητη και μία εξαρτημένη

Ανεξάρτητες	Εξαρτημένες
Είδος μετάλλου (αλλάζει μόνο στην προσομοίωση)	Φωτόρευμα
Τάση	Τάση αποκοπής
Ένταση φωτός	Χρόνος που χρειάζεται για να εμφανιστεί φωτόρευμα
Συχνότητα (ή μήκος κύματος) φωτός της λάμπας	Άλλη: _____
Άλλη: _____	

Υπενθύμιση: Κάποια από τα χαρακτηριστικά του φωτός ως κύματος (κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία)

1. Το φως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα
2. Φως μεγαλύτερης έντασης που πέφτει σε επιφάνεια, μεταφέρει περισσότερη ενέργεια στη μονάδα του χρόνου από ότι φως μικρότερης έντασης που πέφτει στην ίδια επιφάνεια.
3. Η ενέργεια που μεταφέρει το φως δεν σχετίζεται με τη συχνότητά του, αλλά με την έντασή του.

Υπόθεση

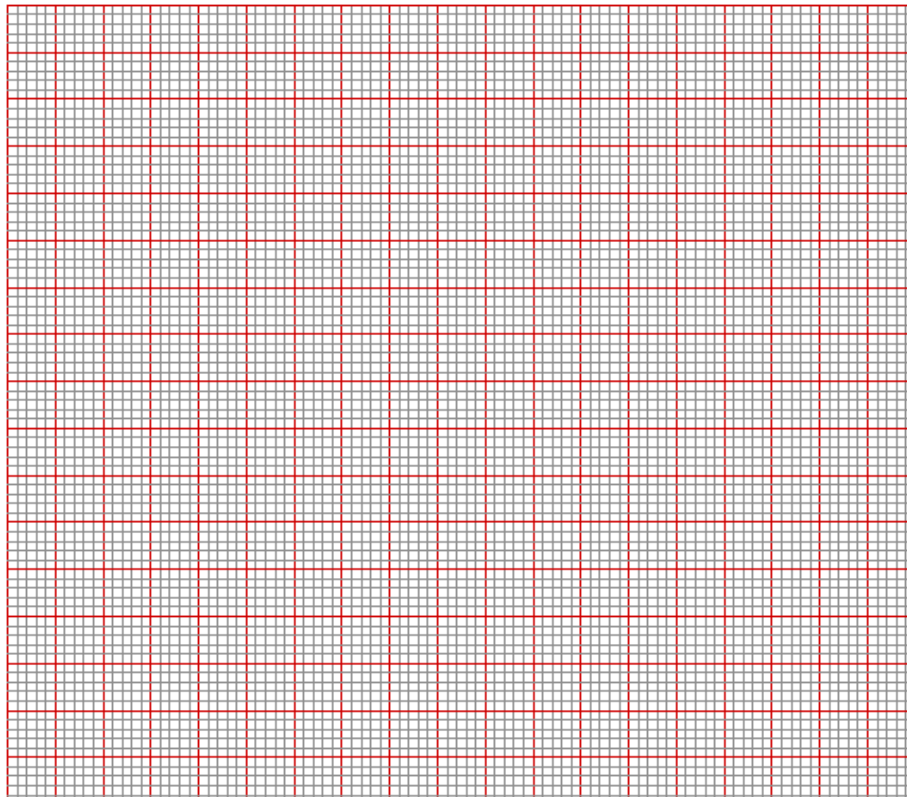
Τι περιμένουμε να συμβεί στην εξαρτημένη μεταβλητή _____ καθώς αλλάζει η ανεξάρτητη μεταβλητή _____ και γιατί;

Μετρήσεις

Πίνακας 1: _____ σε σχέση με _____

	Τιμές Ανεξάρτητης μεταβλητής	Τιμές Εξαρτημένης μεταβλητής
Μέτρηση	_____ / _____ ± _____	_____ / _____ ± _____
1		
2		
3		
4		
5		

Γραφική παράσταση 1: _____ σε σχέση με _____



Περιγραφή της γραφικής παράστασης:

Συμπέρασμα σε σχέση με την υπόθεση

Γενικό Συμπέρασμα : Προβλέψεις θεωριών για τα αποτελέσματα των πειραμάτων όλων των ομάδων.

Ομάδα	Ανεξάρτητη μεταβλητή	Εξαρτημένη μεταβλητή	Υπόθεσή τους με βάση την κλασική θεωρία	Συμπέρασμα σε σχέση με την υπόθεση
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Σχολιάστε τα αποτελέσματα σε σχέση με την κλασική θεωρία. Τι μπορεί να σημαίνει αυτό για την κλασική θεωρία;

Με βάση το μοντέλο του Einstein τα χαρακτηριστικά του φωτός είναι:

Πως συμβιβάζεται αυτό το μοντέλο με τα αποτελέσματα της εργαστηριακής διερεύνησης που έκανε η ομάδα σας;

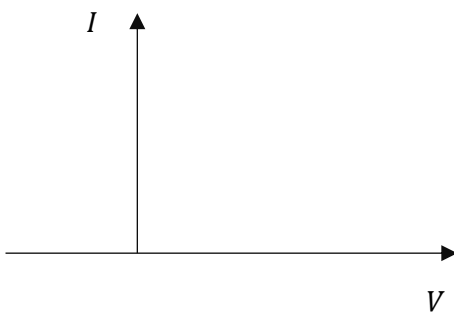
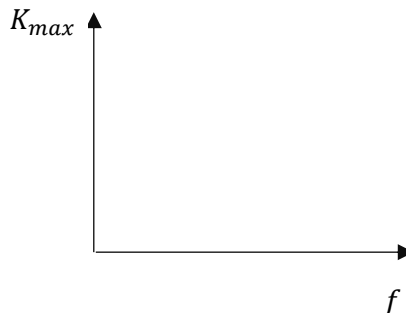
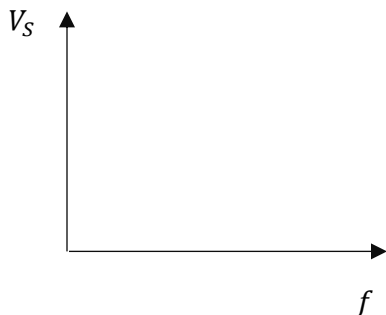
Η τελική εξίσωση που περιγράφει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:

Όπου:

- $K_{max} =$ _____
- $\Phi =$ _____
- $h =$ _____

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

1. Σχεδιάστε τις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:



2. Το έργο εξαγωγής για το ασβέστιο είναι $4,64 \times 10^{-19} J$. Υπολογίστε τη μέγιστη κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων όταν φως συχνότητας $7,23 \times 10^{14} Hz$ πέσει πάνω σε μεταλλικό ασβέστιο.
3. Το έργο εξαγωγής για το ασβέστιο είναι $4,64 \times 10^{-19} J$. Υπολογίστε τη μέγιστη κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων όταν φως μήκους κύματος $4,00 \times 10^{-7} m$ πέσει πάνω σε μεταλλικό ασβέστιο.
4. Συχνότητα κατωφλίου μετάλλου είναι η ελάχιστη συχνότητα του φωτός που θα προκαλέσει την εκπομπή φωτοηλεκτρονίων από μέταλλο. Υπολογίστε τη συχνότητα κατωφλίου για χρυσό, ο οποίος έχει έργο εξαγωγής $8,16 \times 10^{-19} J$.

5. Εκτιμήστε τον χρόνο που θα χρειαζόταν για να ξεκινήσει η εκπομπή φωτοηλεκτρονίων από την επιφάνεια μετάλλου, αν ίσχυε η κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Υποθέστε πως η μεταλλική επιφάνεια έχει εμβαδό 40 cm^2 , είναι φτιαγμένη από χαλκό και φωτίζεται από λάμπα ισχύος 5 W η οποία βρίσκεται σε απόσταση 120 cm από την επιφάνεια. Ο χαλκός έχει $7,52 \times 10^{-19} \text{ J}$, ενώ στην επιφάνειά του υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια κατά μέσο όρο σε απόσταση $2,3 \times 10^{-10} \text{ m}$ το ένα από το άλλο.

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 3: ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

1. Εργασία στην ολομέλεια της τάξης: Μελετήστε τα παρακάτω και συζητήστε

Καθώς η ανθρωπότητα μεταβαίνει από τον 19^ο στον 20^ο αιώνα, συμβαίνουν:

1887 Ο Γερμανός φυσικός *Heinrich Hertz* παρατήρησε ότι το μήκος ενός σπινθήρα μεγαλώνει όταν πέσει πάνω στο υλικό που τον παράγει, υπεριώδης ακτινοβολία

1899 Ο Άγγλος φυσικός *Joseph John Thomson* παρατήρησε ότι όταν υπεριώδης ακτινοβολία προσπέσει σε μεταλλική επιφάνεια τότε εκπέμπονται σωματίδια από την επιφάνεια (καθοδικές ακτίνες)

1900 Ο Γερμανός φυσικός *Max Planck* διατυπώνει την υπόθεση ότι η ενέργεια εκπέμπεται ή απορροφάται από ένα σώμα κατά μικρά ενεργειακά πακέτα, τα κβάντα. Μέλος της Γερμανικής Φυσικής Εταιρείας.

1902 Ο Γερμανός φυσικός *Philipp Lenard* (βοηθός του *Hertz*) παρατήρησε ότι αυτή η εκπομπή ηλεκτρονίων δεν εξαρτιόταν από την ένταση της ακτινοβολίας και ότι κάποιες ακτινοβολίες διαφορετικών f , δεν μπορούσαν να δημιουργήσουν ρεύμα στο κύκλωμα. Μέλος της Γερμανικής Φυσικής Εταιρείας.

1905 Ο Γερμανός φυσικός εβραϊκής καταγωγής *Albert Einstein* επεκτείνοντας τις απόψεις του *Planck* διατυπώνει με την δημοσίευση ενός άρθρου, την υπόθεση των φωτονίων, την φωτοηλεκτρική εξίσωση και εξηγεί το φαινόμενο. Το 1900 είχε αποκτήσει την ελβετική υπηκοότητα εγκαταλείποντας την γερμανική και το 1905 ολοκλήρωσε τη διδακτορική του διατριβή.

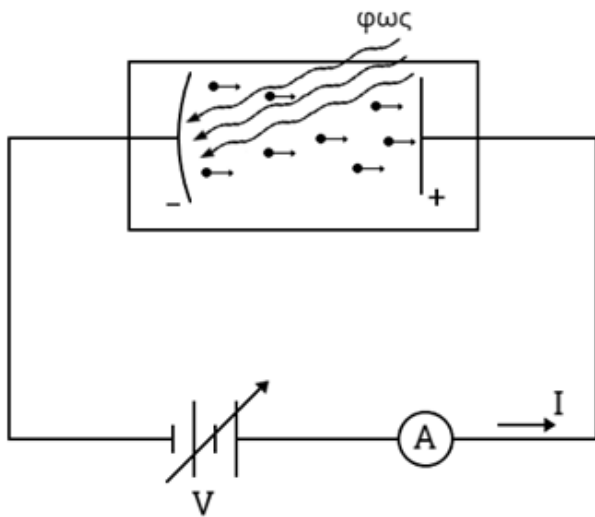
Σχολιάστε στην ολομέλεια της τάξης, την ιστορική εκείνη περίοδο για την φυσική επιστήμη :

- Πειραματική Φυσική vs Θεωρητική Φυσική
- Κλασική Φυσική vs Σύγχρονη Φυσική
- Κατεστημένη σκέψη vs Καινοτόμος σκέψη

2. Εργασία στις ομάδες: Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι το φαινόμενο της εκπομπής ηλεκτρονίων από μία μεταλλική επιφάνεια όταν προσπέσει φωτεινή ή υπεριώδης ακτινοβολία στην επιφάνεια του.

Στην παρακάτω *Εικόνα 1* βλέπετε μία απλή διάταξη για την πειραματική μελέτη του φαινομένου. Το μέταλλο βρίσκεται μέσα σε μία λυχνία υψηλού κενού.



Εικόνα 1: Απλή διάταξη για εκδήλωση φωτοηλεκτρικού φαινομένου

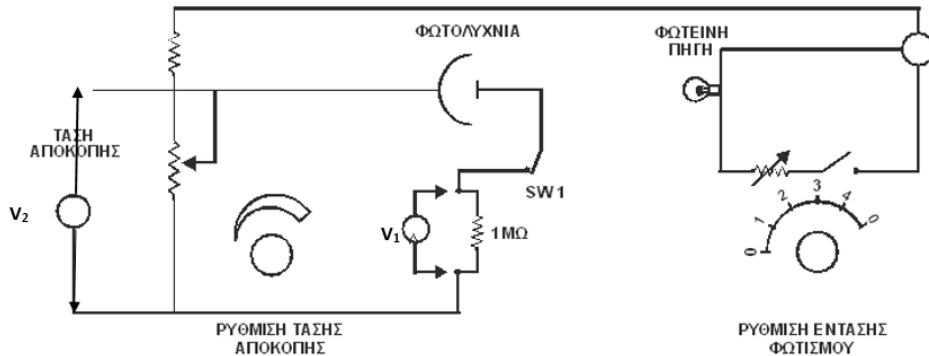
Συχνότητα φωτεινής δέσμης	<input type="checkbox"/>
Είδος μετάλλου	<input type="checkbox"/>
Ένταση φωτεινής δέσμης	<input type="checkbox"/>
Τάση της πηγής	<input type="checkbox"/>
Πολικότητα της πηγής	<input type="checkbox"/>
Άλλο (προσδιορίστε).....	

Επιλέξτε ποιες είναι οι παράμετροι που μπορούν να μεταβληθούν κατά την πειραματική διερεύνηση;

Συζητήστε στην ομάδα σας και καταγράψτε έναν πειραματικό σχεδιασμό έτσι ώστε να μελετήσετε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

3. Εργασία στις ομάδες: Πειραματική διερεύνηση

Εφόσον συνδέσετε την κάθοδο όπως στο σχήμα τα ηλεκτρόνια που παράγονται λόγω της φωτεινής ακτινοβολίας κάνουνκίνηση. Ο Lenard έκανε το εξής ιδιοφυές και απλό: συνδεδεσε την πηγή με αντίστροφη πολικότητα. Μετρούσε την τάση της πηγής που μηδένιζε το ρεύμα στο κύκλωμα (τάση αποκοπής) και παρατήρησε ότι η τάση αυτή **δεν εξαρτιόταν** από την ένταση της ακτινοβολίας αλλά μόνο από την συχνότητα. Αυτό ήταν όμως και αυτό που δεν μπόρεσε να εξηγήσει στηριζόμενος στην κλασική φυσική.



Εικόνα 2: Σχηματική αναπαράσταση πειραματικής διάταξης φωτοηλεκτρικού φαινομένου

Στην πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσετε η τάση μεταβάλλεται μέσω ενός ποτενσιομέτρου. Έχετε τη δυνατότητα αναστροφής της πολικότητας της τάσης.

Το πρόβλημα:

Αν επιλέξετε ανάστροφη πολικότητα (η κάθοδος συνδέεται με τον θετικό πόλο της πηγής), τι κίνηση κάνουν τα ηλεκτρόνια που θα παραχθούν;

Όσο αυξάνετε την ανάστροφη τάση της πηγής, αυξάνει ή ελαττώνει το ρεύμα του κυκλώματος;

Τη στιγμή που το ρεύμα γίνει μηδέν, τι συμβαίνει ενεργειακά με τα ηλεκτρόνια; ($q_e \cdot V$ η ενέργεια που δίνει η πηγή σε κάθε ηλεκτρόνιο, K η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου, ϕ το έργο εξαγωγής).

Στην παρούσα άσκηση θέλετε με χρήση της φωτοηλεκτρικής εξίσωσης $K = h \cdot f - \phi$ να μετρήσετε την σταθερά του Planck h .

Διαθέτετε: 5 φωτεινές πηγές LED διαφορετικών συχνοτήτων, δυνατότητα ανάστροφης τάσης, δυνατότητα μέτρησης φωτορεύματος, βολτόμετρο μέτρησης τάσης της πηγής.

Ποια είναι στην παραπάνω εξίσωση η ανεξάρτητη μεταβλητή και ποια η εξαρτημένη.....;

Περιγράψτε μία πειραματική διαδικασία για την μέτρηση της σταθεράς h του Planck.

Σχολιάστε στην ολομέλεια της τάξης.

Μετρήσεις

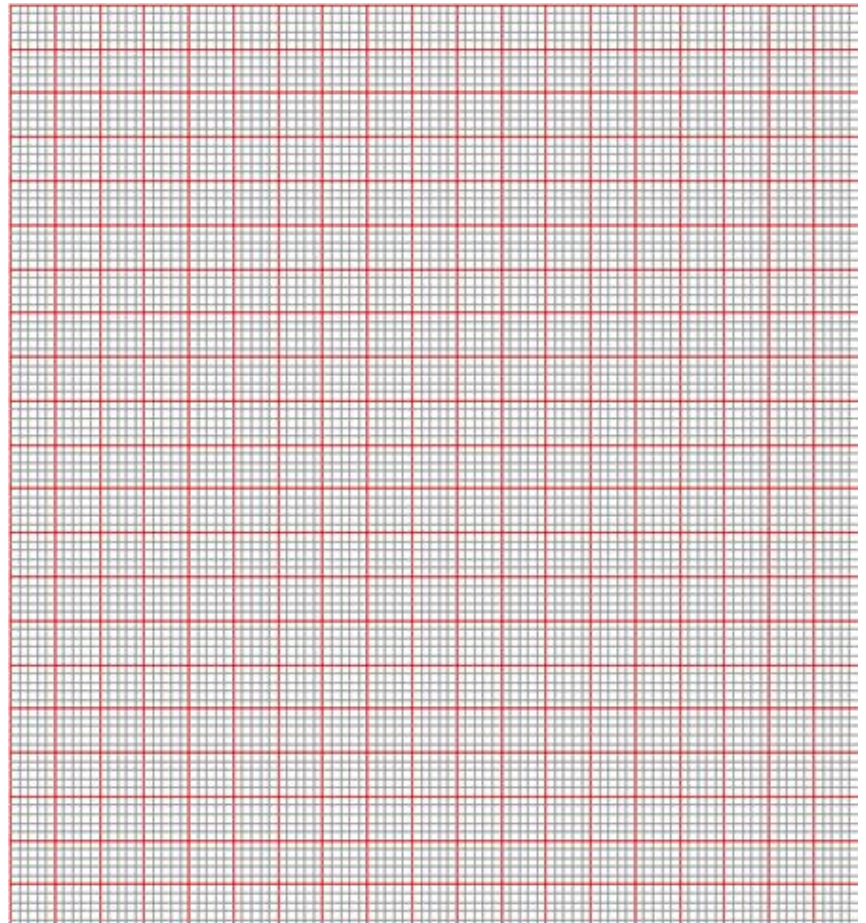
Προετοιμασία συσκευής

1. Γυρίστε τα κουμπιά ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ τέρμα αριστερά και το κουμπί ΡΥΘΜΙΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ στη θέση 0. Βυσματώστε το τροφοδοτικό στη συσκευή και γυρίστε τον διακόπτη αναστροφής τάσης προς τα αριστερά.
2. Συνδέστε το πολύμετρο τύπου RE65 (πολύμετρο Νο 2) στην υποδοχή βολτομέτρου που σημειώνεται με V και γυρίστε τον επιλογέα στη θέση 2V DC. Συνδέστε ένα πολύμετρο του εργαστηρίου (πολύμετρο Νο 1) στις εξόδους της τάσης αποκοπής και επιλέξτε την περιοχή μέτρησης 0 – 2 VDC.

Πειραματική διαδικασία

1. Τοποθετήστε τη φωτεινή πηγή Νο 1 στην υποδοχή στερέωσης των πηγών LED, που είναι προσαρμοσμένη στο κάλυμμα της φωτολυχνίας. Συνδέσετε την τροφοδοσία στο πίσω μέρος της πηγής Νο 1.
2. Ανάψτε τη λυχνία LED γυρίζοντας το κουμπί ΡΥΘΜΙΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ στη θέση 4 που αντιστοιχεί στη μέγιστη φωτεινότητα.
3. Αυξήστε την ανάστροφη τάση συνεχώς μέχρις ότου η ένδειξη του πολυμέτρου Νο 2 γίνει μηδενική. Η διαδικασία χρειάζεται να είναι αργή και να περιμένετε σταθεροποίηση της ένδειξης.
4. Καταχωρήστε την τιμή της αναστροφής τάσης που μηδενίζει το ρεύμα της φωτολυχνίας στον Πίνακα.
5. Τοποθετήστε στη θέση της πηγής Νο 2. Επαναλάβετε τα βήματα 2-4. Ομοίως για τις φωτεινές πηγές 3,4,5.

Συχνότητα (10^{14} Hz)	Τάσης αποκοπής V_0 (mV)	K_{max} (eV)



Μεταφέρετε τις τιμές στο Excel και επιλέξτε τις μεταβλητές που θα απεικονίσετε.

Γραφική παράσταση: ----- σε σχέση με -----

Με τη βοήθεια της γραφικής παράστασης που επιλέξατε, υπολογίστε την τιμή του h . Υπολογίστε το σχετικό σφάλμα ($h=6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$).

Η τάση αποκοπής δηλαδή η τάση που σταματάει την ροή ηλεκτρονίων προς την άνοδο πολλαπλασιασμένη επί το φορτίο του ηλεκτρονίου αντιστοιχεί με την μέγιστη κινητική ενέργεια που μπορεί να έχει το φωτοηλεκτρόνιο ($K_{\max} = hf - \phi$). Γιατί θεωρείται ότι είναι η \max κινητική ενέργεια;

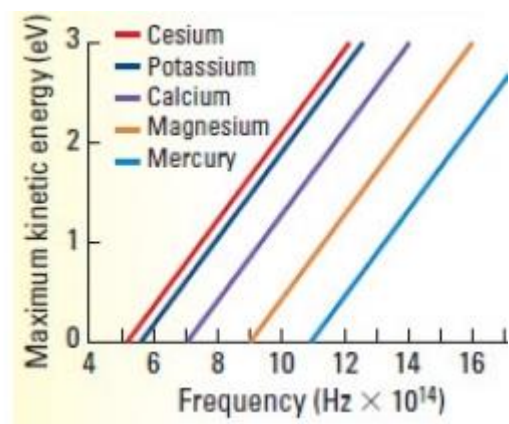
Ποια είναι η πληροφορία που δίνεται από το σημείο τομής της γραφικής παράστασης με τον οριζόντιο άξονα; Αντιβαίνει αυτό με την κλασική φυσική;

Ποια είναι η πληροφορία που δίνεται από το σημείο τομής της γραφικής παράστασης με τον κατακόρυφο άξονα;

Η μέγιστη ταχύτητα των ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από την φωτεινή ένταση (όπως υποστηρίζει η κλασική θεωρία) αλλά μόνο από την συχνότητα της ακτινοβολίας. Περιγράψτε την πειραματική διαδικασία με την οποία θα μπορούσε αυτό να αναδειχθεί αξιοποιώντας την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη.

Το υλικό της καθόδου θα μπορούσε να είναι κάισιο, κάλιο.....

Ταυτοποιήστε το μέταλλο της καθόδου της συσκευής που χρησιμοποιήσατε με τη βοήθεια του διαγράμματος.



Εικόνα 1: Η μέγιστη K_{\max} σε συνάρτηση με τη συχνότητα για διαφορετικά μέταλλα της καθόδου

ΑΝΑΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Η εργαστηριακή αναφορά έχει στόχο τον υπολογισμό της σταθεράς του Planck από πειραματικά δεδομένα. Θα γίνει με τη συσκευή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, μέσω της γραφικής παράστασης Τάσης αποκοπής – συχνότητας φωτός. Τα μέρη της εργαστηριακής αναφοράς θα είναι:

1. Εισαγωγικά (Υποπαράγραφοι: στόχος, θεωρία, μέθοδος, βήματα εκτέλεσης πειράματος, εξοπλισμός, ηθική χρήση εξοπλισμού, μέτρα προστασίας)
2. Μετρήσεις (πίνακας μετρήσεων με αβεβαιότητες)
3. Επεξεργασία Μετρήσεων (γραφική παράσταση με αβεβαιότητες, υπολογισμός κλίσης, υπολογισμός h με αβεβαιότητα, υπολογισμός σφάλματος σε σχέση με την αποδεκτή τιμή)
4. Συμπεράσματα (Σύνοψη/αποτελέσματα, αξιολόγηση αποτελεσμάτων, προτάσεις για βελτιώσεις, προτάσεις για επέκταση)
5. Βιβλιογραφία (πηγές για θεωρία, πηγή αποδεκτής τιμής h)

Αξιολόγηση εργαστηριακής αναφοράς

	4-5	2-3	0-1
Διεξαγωγή πειράματος	Ο μαθητής εκτελεί ακολουθώντας τις οδηγίες, τηρώντας τους κανόνες ασφαλείας και συνδέοντας τα μέρη της συσκευής όσο καλύτερα είναι δυνατό	Ο μαθητής χρειάζεται σημαντική βοήθεια, τόσο για να καταλάβει τι πρέπει να κάνει, όσο και για να συνδέσει τα μέρη της συσκευής. Επιδεικνύει χαλαρότητα στην τήρηση των κανόνων ασφαλείας	Ο μαθητής δεν μπορεί να προχωρήσει στην εκτέλεση του πειράματος παρά μόνο μετά από έντονες παροτρύνσεις και βοήθεια. Επιδεικνύει αδιαφορία για τους κανόνες ασφαλείας.
Συλλογή δεδομένων	Ο μαθητής συλλέγει απολύτως σωστά δεδομένα. Χρησιμοποιεί σημαντικά ψηφία και αβεβαιότητες. Καταγράφει με σαφή τρόπο τα δεδομένα σε πίνακα.	Ο μαθητής συλλέγει γενικά σωστά δεδομένα. Δεν χρησιμοποιεί σημαντικά ψηφία. Δεν αναφέρει αβεβαιότητες ή τις αναφέρει με τρόπο που δε δείχνει κατανόηση. Καταγράφει τα δεδομένα με τρόπο όχι σαφή.	Ο μαθητής συλλέγει δεδομένα όχι σωστά γενικά. Δεν ασχολείται με τα σημαντικά ψηφία και τα σφάλματα. Καταγράφει τα δεδομένα πρόχειρα και μπερδεμένα.
Επεξεργασία δεδομένων	Ο μαθητής υπολογίζει την κλίση σωστά προσέχοντας τα σημαντικά ψηφία και τις αβεβαιότητες. Υπολογίζει το h σωστά. Συμπεριλαμβάνει όλες τις σωστές μονάδες. Υπολογίζει σωστά το % σφάλμα. Ο σχολιασμός είναι ακριβής και σωστός.	Ο μαθητής εκτελεί τους υπολογισμούς (κλίση, h , % σφάλμα) σχετικά σωστά με κάποια αμέλεια για τα σημαντικά ψηφία και τις αβεβαιότητες. Υπολογίζει το % σφάλμα. Υπάρχει σχολιασμός.	Ο μαθητής εκτελεί κάποιους υπολογισμούς.
Σχόλια – Συμπέρασμα	Ο μαθητής σχολιάζει σωστά. Το συμπέρασμα δείχνει κατανόηση του τι έγινε στη διάρκεια του πειράματος. Το συμπέρασμα περιέχει μια εμπειριστατωμένη κρίση για την ακρίβεια του πειράματος (συστηματικά και τυχαία σφάλματα) και προτάσεις για βελτιώσεις και επέκταση που είναι σαφείς και ρεαλιστικές..	Τα σχόλια του μαθητή είναι στη σωστή κατεύθυνση. Το συμπέρασμα είναι κάπως τετριμμένο. Η κρίση για την ακρίβεια του πειράματος είναι επιφανειακή. Γίνονται προτάσεις για βελτιώσεις και επέκταση, αλλά είναι ασαφείς.	Ο μαθητής σχολιάζει με υποτυπώδη τρόπο και γράφει κάποιο συμπέρασμα.

ΑΝΑΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

(Μπορεί να δοθεί στους μαθητές πριν το μάθημα σύμφωνα με το μοντέλο της ανεστραμμένης τάξης ώστε να εξοικειωθούν με το φαινόμενο).

Διαδικασία

Βήμα 1^ο: Παρατηρήστε τις παρακάτω εικόνες. Σκεφτείτε τι κοινό έχουν μεταξύ τους.

Απάντηση:.....
.....
.....



(Credits to wirestock - www.freepik.com)
είναι έγκυρη.)



(Credits to 8photo - **Σφάλμα!** Η αναφορά της υπερ-σύνδεσης δεν



(Credits to Hideki Kimura, Kouhei Sagawa - Own work, CC BY 3.0)

Βήμα 2^ο: Σκεφτείτε έναν μικροσκοπικό μηχανισμό ο οποίος να μπορεί να εξηγήσει την παρατηρούμενη ενεργειακή μετατροπή.

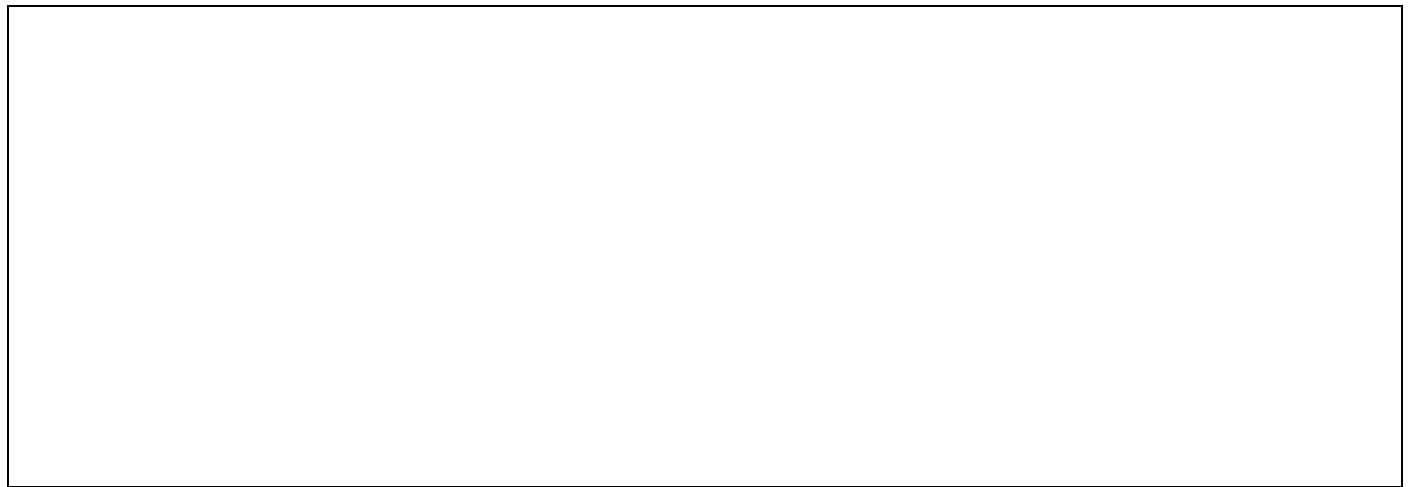
Απάντηση:.....
.....
.....

Βήμα 3^ο: Μεταβείτε στο σχολικό βιβλίο στην παράγραφο 7.3. Αρχικά εστιάσετε στον ορισμό του **φωτοηλεκτρικού φαινομένου**. Αυτό ανταποκρίνεται στον μηχανισμό που σας ζητήθηκε στο προηγούμενο ερώτημα;

Απάντηση:.....
.....
.....

Βήμα 4^ο: Προσπαθήστε να σκεφτείτε/σχεδιάσετε τα βασικά μέρη μίας πειραματικής διάταξης για τη μελέτη του φαινομένου αυτού.

Απάντηση:.....
.....
.....



Βήμα 5^ο: Παρακολουθήστε το βίντεο που βρίσκεται στη διεύθυνση:

https://www.youtube.com/watch?v=DWki9M5HI_M.

Α. Καταγράψτε τα βασικά μέρη της συσκευής για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου όπως παρουσιάζονται.

Απάντηση:.....
.....
.....

Β. Τι συμβαίνει όταν παρεμβάλλουμε το κόκκινο φίλτρο;

Απάντηση:.....
.....
.....

Γ. Ποια ήταν τα προβλήματα στην ερμηνεία του φαινομένου;

Απάντηση:.....
.....
.....

Δ. Τι παρατηρούμε χρησιμοποιώντας πηγές παρόμοιας έντασης αλλά διαφορετικού χρώματος;

Απάντηση:.....
.....
.....

Ε. Σε ποια συμπεράσματα καταλήγουμε;

Απάντηση:.....
.....
.....
.....
.....
.....

ΦΥΛΛΟ ΑΥΤΟ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

https://content.e-me.edu.gr/wp-admin/admin-ajax.php?action=h5p_embed&id=1188082