

Φυσική Γ' ΓΕΛ - ΤΕΥΧΟΣ Γ'

Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών & Σπουδών Υγείας

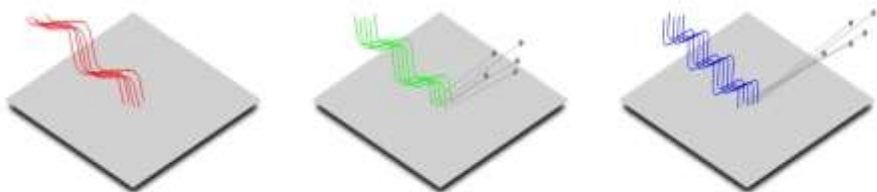
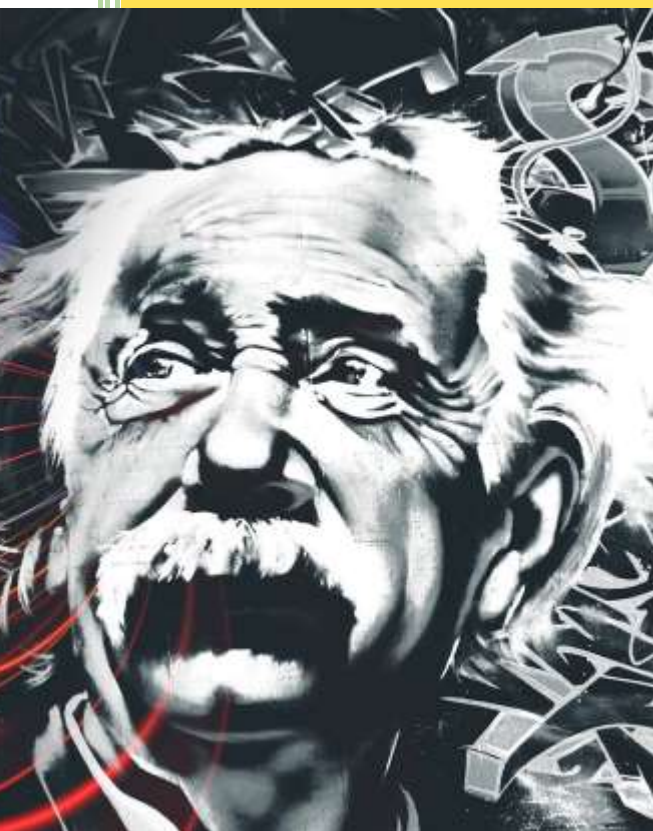
Θεωρία και πειράματα

2022

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

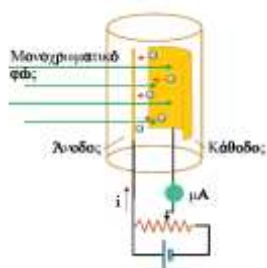
"In fact, it seems to me that the observations on "black-body radiation", photoluminescence, the production of cathode rays by ultraviolet light and other phenomena involving the emission or conversion of light can be better understood on the assumption that the energy of light is distributed discontinuously in space. According to the assumption considered here, when a light ray starting from a point is propagated, the energy is not continuously distributed over an ever increasing volume, but it consists of a finite number of energy quanta, localized in space, which move without being divided and which can be absorbed or emitted only as a whole."

Albert Einstein, 1905



Αριστείδης Γκάτσης – Φυσικός Υπεύθυνος ΕΚΦΕ
Νίκος Διαμαντής ΣΕΕ –ΠΕΚΕΣ Θεσσαλίας

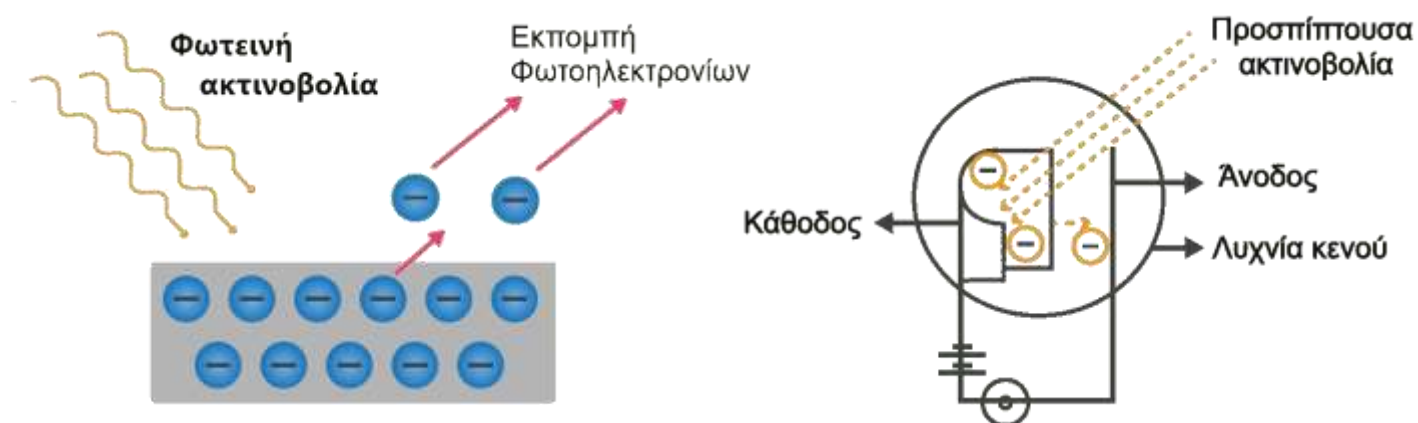
Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο



Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (ή φωτοηλεκτρική εκπομπή) είναι η απελευθέρωση ηλεκτρονίων από την ύλη (μεταλλικά ή μη μεταλλικά στερεά, υγρά και αέρια) όταν πάνω της προσπίπτει φως. Η μελέτη του φαινομένου υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση της κβαντικής φύσης του φωτός. Το φαινόμενο ερμηνεύτηκε το 1905 από τον Einstein ο οποίος, επεκτείνοντας τις απόψεις του Planck, υπέθεσε ότι «το φως αποτελείται από μικρά πακέτα ενέργειας, που ονομάζονται κβάντα φωτός ή φωτόνια».

Στα παρακάτω 4 πειράματα θα μελετηθεί η εξάρτηση της μέγιστης κινητικής ενέργειας των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και θα προσδιοριστεί πειραματικά η τιμή της σταθεράς του Planck καθώς και το έργο εξαγωγής των φωτοηλεκτρονίων του υλικού της καθόδου.

Φωτοηλεκτρική εξίσωση $K_{max} = E - \Phi_0$



$E = K_{max} + \Phi_0$, ή $K_{max} = E - \Phi_0$ (φωτοηλεκτρική εξίσωση Einstein). Όπου Φ_0 Έργο εξαγωγής

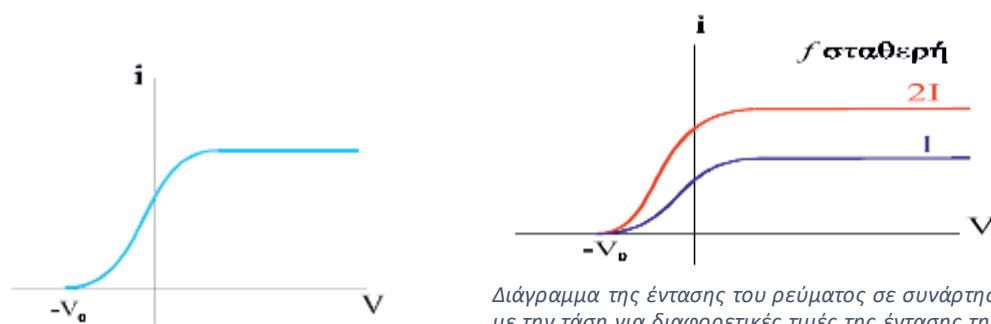
$E = hf$ η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, h =Σταθερά του Planck

$K_{max} = \frac{1}{2} m \cdot v_{max}^2 = e \cdot V$ η μέγιστη κινητική ενέργεια ηλεκτρονίων.

Για $K_{max} = 0$ προκύπτει ότι $E = \Phi_0$ και παίρνουμε την συχνότητα κατωφλίου $f_0 = \Phi_0/h$ που είναι η ελάχιστη συχνότητα φωτεινής ακτινοβολίας για την εμφάνιση φωτοηλεκτρονίων και εξαρτάται μόνο από το υλικό της καθόδου. Όταν η κάθοδος είναι από οξειδία του Καισίου (Cs) η f_0 κινείται στο ορατό φάσμα (λ : 400-700nm).

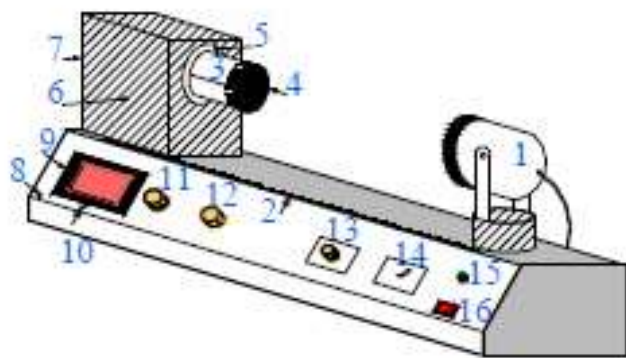
Η ροή φωτοηλεκτρονίων σταματά όταν $eV \geq K_{max}$. Η τιμή V_0 της τάσης είναι η τάση αποκοπής.

Από τις παραπάνω εξισώσεις: $V_0 = (h/e)f - (\Phi/e)$.



Διάγραμμα της έντασης του ρεύματος σε συνάρτηση με την τάση για διαφορετικές τιμές της έντασης της

Περιγραφή συσκευής φωτοηλεκτρικού φαινομένου



Κατασκευαστής συσκευής: Ν. Ατματζίδης
ΑΤΕΒΕ (Έτος διανομής: 2008)

1. Λάμπα αλογόνου-βολφραμίου
2. Αριθμημένη κλίμακα 0-40 cm
3. Εισαγωγή φωτεινής δέσμης
4. Κάλυμμα υποδοχής
5. Φακός Εστίασης εντός σκοτεινού θαλάμου
6. Σκοτεινός θάλαμος φωτοκύτταρου
7. Φωτοκύτταρο καισίου εντός σκοτεινού θαλάμου

8. Έξοδος τροφοδοσίας LED
9. Ψηφιακή οθόνη
10. Επιλογέας ένδειξης τάσης (V) ή ρεύματος(μΑ)
11. Επιλογέας ακρίβειας για το ρεύμα
12. Επιλογέας ρύθμισης έντασης φωτισμού
13. Ρύθμιση τάσης
14. Επιλογή πολικότητας
15. Ένδειξη λειτουργίας
16. Διακόπτης ON/OFF

Διευκρινήσεις για τη χρήση της συσκευής

Για την λειτουργία της συσκευής δεν απαιτούνται επιπλέον όργανα όπως πολύμετρα, τροφοδοτικά και καλώδια.

Για καλύτερα αποτελέσματα οι πρώτες μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται τουλάχιστον δέκα λεπτά μετά το άνοιγμα της συσκευής.

Η συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μαθητές για να επιτευχθούν οι παρακάτω στόχοι:

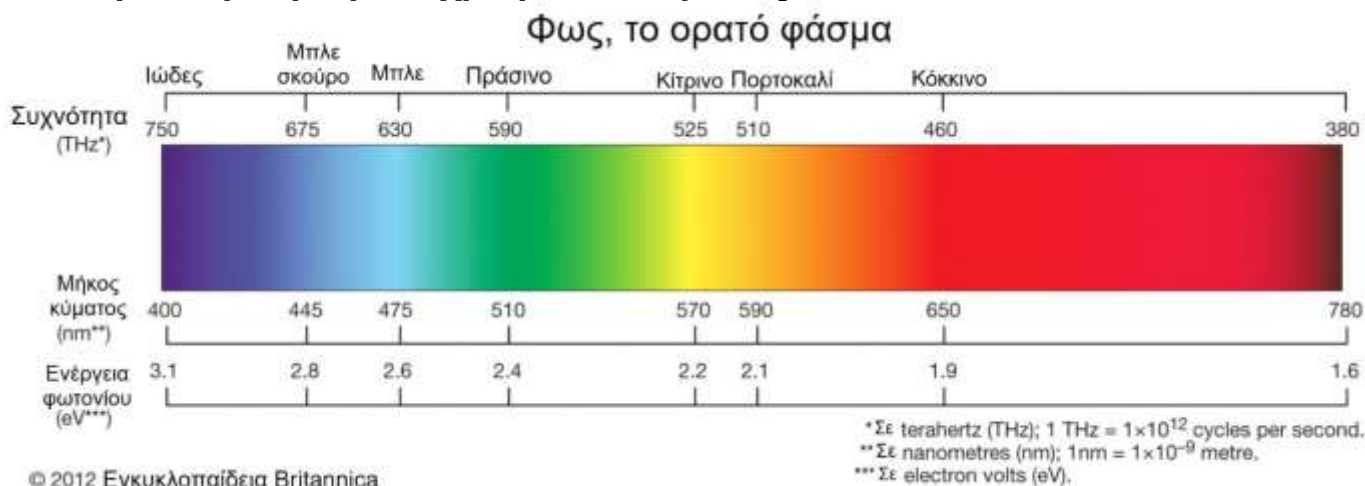
1. Η πειραματική επιβεβαίωση των νόμων του του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.
2. Για τον υπολογισμό της σταθεράς του Plank.
3. Για τον υπολογισμό του έργου εξαγωγής του Καισίου (μέταλλο καθόδου).

Επειδή στα φίλτρα δεν αναγράφεται συγκεκριμένο μήκος κύματος, αλλά η περιοχή φάσματος, μπορούμε να θεωρήσουμε ως μήκος κύματος την μέση τιμή του φάσματος του φίλτρου. Στο συγκεκριμένο πείραμα το μήκος κύματος του κάθε φίλτρου προσδιορίστηκε μετά από οπτική αντιπαράθεση του φίλτρου και του φάσματος του λευκού φωτός. Επίσης η γραφική παράσταση χηράκτηκε με χρήση του Excel κάνοντας χρήση της συνάρτησης παλινδρόμησης. Οπότε η κλίση υπολογίζεται αυτόματα.



Επιπλέον αναφορές:

1. Ορατό φάσμα μονοχρωματικού φωτός



2. Εφαρμογή σε έξυπνες συσκευές Android: [Photoelectric effect](#)



Photoelectric Effect

Study Photoelectric Effect through a simply and funny app.

Developer: Fisicamaldonado

App Size: 6.0M

Release Date: Aug 14, 2016

Price: Free

3. Διαδραστική εφαρμογή: [Photoelectric effect](#) by [Gizmos](#) (<https://tinyurl.com/2p8mzut8>)



Βιβλιογραφία:

- Αλέκος Ιωάννου κ.ά. Φυσική Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών Σπουδών & Σπουδών Υγείας ΤΕΥΧΟΣ Γ΄ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»
- Νίκος Γ. Διαμαντής Φυσική –Στοιχεία Κβαντομηχανικής Γ΄ Γενικού Λυκείου, Εκδόσεις Πατάκη 2022
- Αλέκος Ιωάννου κ.ά. Εργαστηριακός Οδηγός θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης Γ τάξης Λυκείου, ΟΕΔΒ, ΑΘΗΝΑ 2010
- Διαδραστική εφαρμογή: [Photoelectric effect](#) by [Gizmos](#) (<https://tinyurl.com/2p8mzut8>)

1ο Πείραμα: Σχέση φωτοηλεκτρικού ρεύματος και απόστασης πηγής [\(Video\)](#)

Διαδικασία:

Ανοίγουμε τη συσκευή και περιμένουμε 5 λεπτά να ζεσταθεί

Τοποθετούμε το μπλε φίλτρο στην υποδοχή εισόδου του φωτός στο σκοτεινό θάλαμο

Ρυθμίζουμε την απόσταση της φωτεινής πηγής στα 15cm και με τιμή τάσης της λυχνίας κενού 10V

Ανοίγουμε την φωτεινή πηγή και την ρυθμίζουμε να έχει μία μέτρια ένταση

Παίρνουμε την πρώτη τιμή έντασης του φωτορεύματος. Απομακρύνουμε την πηγή με βήμα 5cm μέχρι τα 40cm και κάθε φορά παίρνουμε την τιμή της έντασης στο φωτόρευμα.

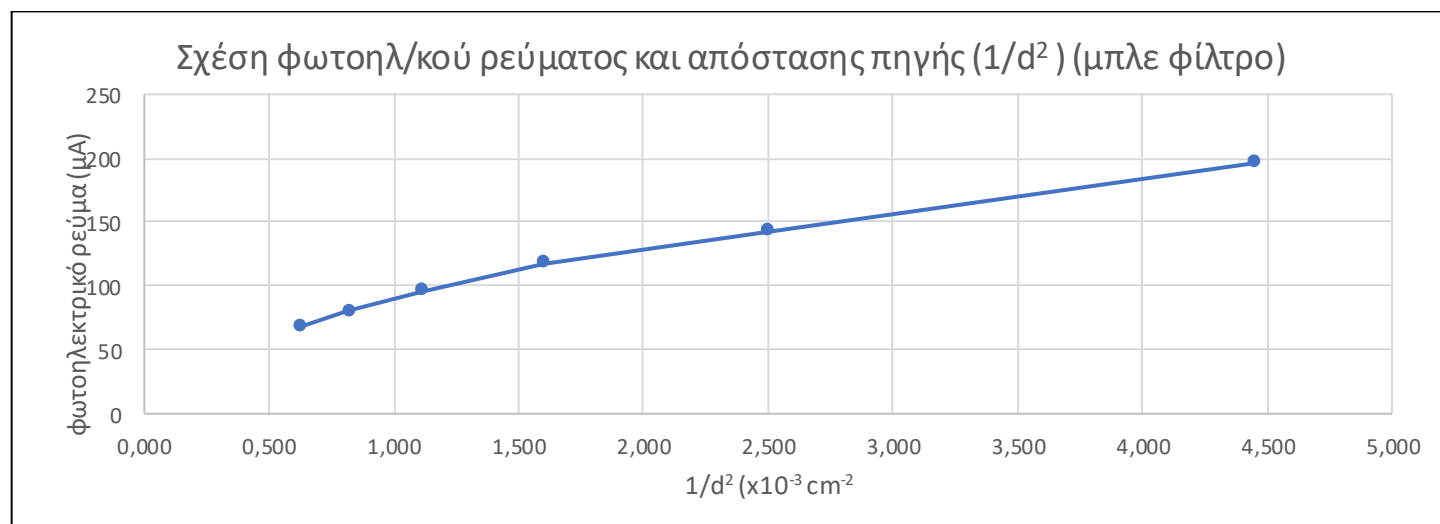
Σχεδιάζουμε τον πίνακα: [Απόστασης d (cm)-Ρεύμα I (μΑ)] (Σχέση φωτοηλεκτρικού ρεύματος και απόστασης πηγής (μπλε φίλτρο))

Δημιουργούμε μια νέα στήλη στον πίνακα με το $1/d^2$

Σχεδιάζουμε τον πίνακα: [Ένταση ακτινοβολίας (ανάλογη $1/d^2$)-Ρεύμα (μΑ)] (Σχέση φωτοηλεκτρικού ρεύματος και έντασης ακτινοβολίας (μπλε φίλτρο))

Τάση V=10V, μπλε φίλτρο		
Απόσταση d (cm)	$I \sim 1/d^2$ ($\times 10^{-3} \text{ cm}^{-2}$)*	Ρεύμα I (μΑ)
15	4,444	196
20	2,500	143
25	1,600	118
30	1,111	96
35	0,816	80
40	0,625	68

* Η σχέση ισχύει αν είχαμε ομοιόμορφη σφαιρική εκπομπή της πηγής. Στην περίπτωση μας είναι προσεγγιστική



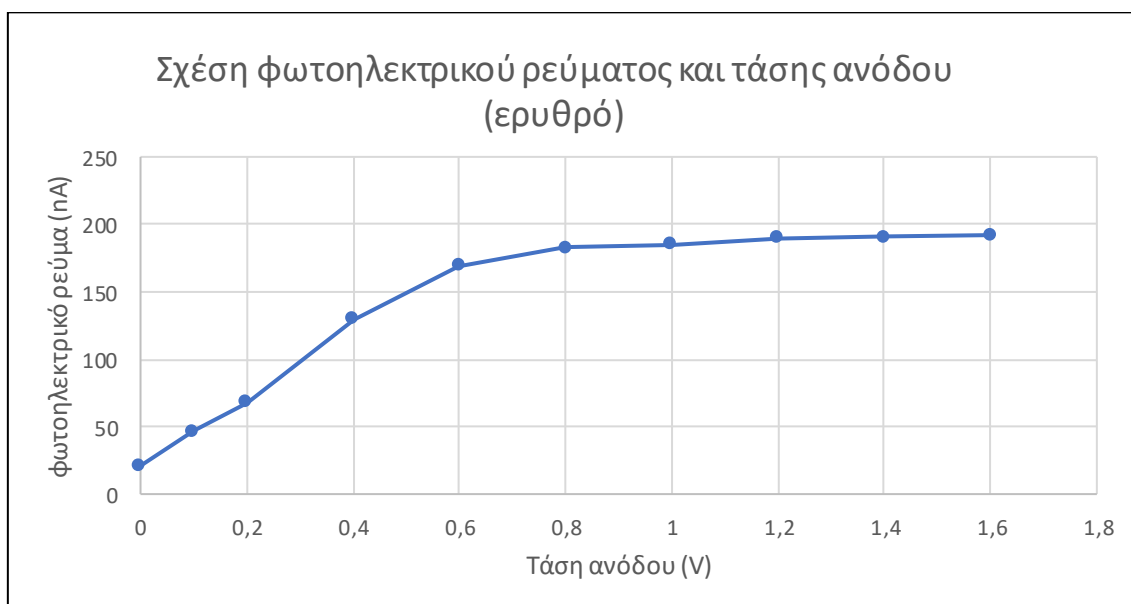
2ο ΠΕΙΡΑΜΑ - Ρεύμα κόρου ([Video](#))

Διαδικασία:

- Ανοίγουμε τη συσκευή και περιμένουμε 5 λεπτά να ζεσταθεί
- Τοποθετούμε το κόκκινο φίλτρο στην υποδοχή εισόδου του φωτός στο σκοτεινό θάλαμο
- Θέτουμε την απόσταση της φωτεινής πηγής στα 40cm, με τιμή τάσης της λυχνίας κενού 0V και θετική πολικότητα.
- Ανοίγω την φωτεινή πηγή και την ρυθμίζω να έχει μία μέτρια ένταση
- Παίρνουμε την πρώτη τιμή έντασης του φωτορεύματος. Αυξάνουμε θετικά την τάση και με βήμα 0,1V μέχρι τα 1,6V καταγράφουμε τις τιμές έντασης του φωτορεύματος.
- Εάν επιθυμούμε επαναλαμβάνουμε και με άλλα φίλτρα
- Σχεδιάζουμε τον πίνακα: [Τάση ανόδου (V)-Ρεύμα I (μΑ)]
- Σχεδιάζουμε τον αντίστοιχο διάγραμμα

Σχέση φωτοηλεκτρικού ρεύματος και τάσης ανόδου (ερυθρό)

Τάση (V)	Ρεύμα (nA)
0	21
0,1	47
0,2	68
0,4	130
0,6	169
0,8	183
1	185
1,2	190
1,4	191
1,6	192



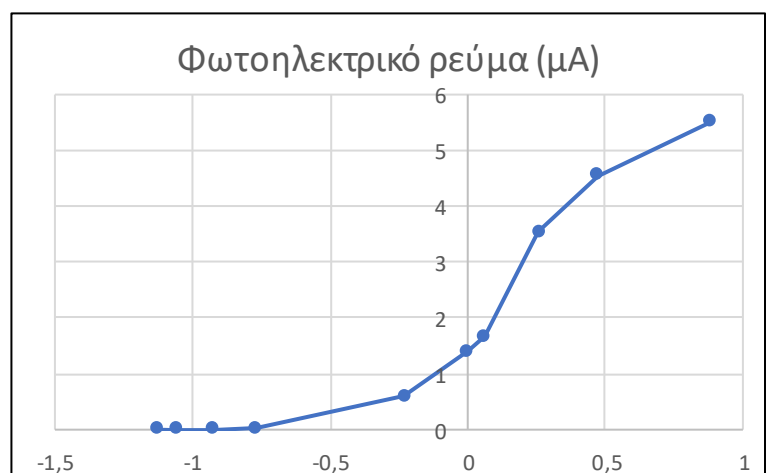
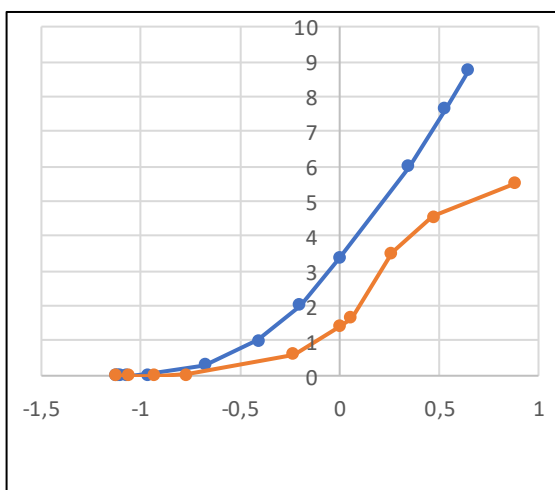
3ο Πείραμα - Ανεξαρτησία τάσης αποκοπής από ένταση ακτινοβολίας ([Video](#))

Διαδικασία:

- Ανοίγουμε τη συσκευή και περιμένουμε 5 λεπτά να ζεσταθεί.
- Τοποθετούμε το μπλε φίλτρο
- Χρησιμοποιούμε ισχυρή φωτεινή ακτινοβολία.
- Λαμβάνουμε μετρήσεις της τάσης ανόδου και του αντίστοιχου φωτορεύματος μειώνοντας την τιμή της τάσης ανόδου μέχρι μηδενισμού της. Αλλάζουμε την πολικότητα από θετική σε αρνητική και συνεχίζουμε μέχρι μηδενισμού του φωτορεύματος (τάση αποκοπής). Καταγράφουμε σε πίνακα τις μετρήσεις
- Επαναλαμβάνουμε το πείραμα με χαμηλότερη ένταση φωτεινής ακτινοβολίας.
- Στο ίδιο διάγραμμα σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση τάση-φωτόρευμα για τις δύο περιπτώσεις.

α/α	Μπλε φίλτρο d=40, Μέγιστη ένταση λάμπας, Τάση Ανόδου-Καθόδου (V)	Φωτοηλεκτρικό ρεύμα (μΑ)
1	0,65	8,75
2	0,53	7,64
3	0,35	6
4	0	3,37
5	-0,2	2,02
6	-0,41	1
7	-0,68	0,3
8	-0,97	0,033
9	-1,07	0,009
10	-1,1	0,004
11	-1,12	0,001
12	-1,13	0

α/α	Μπλε φίλτρο d=40, Χαμηλή ένταση λάμπας, Τάση Ανόδου-Καθόδου (V)	Φωτοηλεκτρικό ρεύμα (μΑ)
1	0,88	5,5
2	0,47	4,55
3	0,26	3,53
4	0,06	1,66
5	0	1,4
6	-0,23	0,6
7	-0,77	0,025
8	-0,93	0,006
9	-1,06	0,002
10	-1,13	0



4ο Πείραμα: Υπολογισμός της σταθεράς του Plank και του έργου εξαγωγής (Video)

Θεωρία: Από την φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein $K_{\max}=eV_0=hf-\Phi$ ή $V_0=(h/e)f-(\Phi/e)$.

Από τη γραφική παράσταση της τάσης αποκοπής με την συχνότητα μπορούμε υπολογίζοντας την κλίση να βρούμε το (h/e) και γνωρίζοντας το φορτίο του ηλεκτρονίου να υπολογίσουμε την σταθερά του Plank

Η γραφική παράσταση του σχήματος έγινε με το excel όπου με την εφαρμογή της παλινδρόμησης (αρχή ελαχίστων τετραγώνων) χαράχτηκε η ευθεία γραμμή και υπολογίστηκε η κλίση h/e .

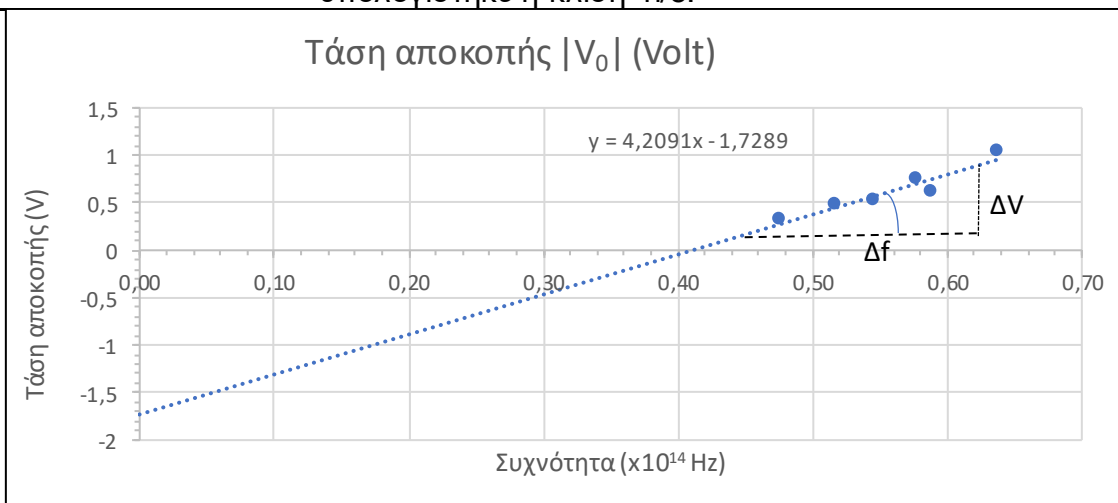
ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

- Τοποθετούμε με τη σειρά τα διάφορα φίλτρα και χρησιμοποιώντας μέτρια ένταση ακτινοβολίας και μετράμε κάθε φορά την αντίστοιχη τάση αποκοπής. Κατασκευάζουμε αντίστοιχο πίνακα τιμών.
- Σχεδιάζουμε το αντίστοιχο διάγραμμα φέρνοντας την ευθεία γραμμή που είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στα σημεία του πειράματος. Υπολογίζουμε την κλίση $h/e=\Delta V/\Delta f$

Φίλτρα (d=σταθ)	λ (10^{-7}m)	$f=c/\lambda$ ($\times 10^{15}$ Hz)	Τάση αποκοπής $ V_0 $ (Volt)
Κόκκινο	6,3	0,48	0,315
Πορτοκαλί	5,8	0,52	0,47
Κίτρινο σκούρο	5,5	0,55	0,52
Κίτρινο	5,1	0,59	0,61
Πράσινο	5,2	0,58	0,735
Μπλέ	4,7	0,64	1,045

Θεωρία: Είναι $eV_0=hf-\Phi$ ή $V_0=(h/e)f-(\Phi/e)$. Από τη γραφική παράσταση της τάσης αποκοπής με την συχνότητα υπολογίζω την κλίση της βέλτιστης ευθείας που είναι το (h/e) δηλ. $h/e=\Delta V/\Delta f$.

Η γραφική παράσταση του σχήματος έγινε με το excel όπου με την εφαρμογή της παλινδρόμησης (αρχή ελαχίστων τετραγώνων) χαράχτηκε η ευθεία γραμμή και υπολογίστηκε η κλίση h/e .



$$h/e=4,21 \times 10^{-15} \text{ V}\cdot\text{s} \Rightarrow h=4,21 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}=4,21 \times 10^{-15} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}\cdot\text{s} \Rightarrow h=6,736 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Έργο εξαγωγής:

1ος τρόπος:

Από το διάγραμμα για $V=0$ έχουμε $f_0=0,41 \times 10^{15}$ Hz.

Άρα $\Phi=hf_0=2,768 \times 10^{-19}$ J ή $\Phi=4,21 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s} \times 0,41 \times 10^{15} \text{ Hz}=1,73 \text{ eV}$

2ος τρόπος:

Από το διάγραμμα είναι $-\Phi/e=-1,73\text{V}$ Άρα $\Phi=1,73 \text{ eV}$