

Εργαστηριακή άσκηση

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και ο προσδιορισμός της σταθεράς του Planck

Στόχοι

Με τη διεξαγωγή αυτής της εργαστηριακής άσκησης επιδιώκουμε:

1. Να διαπιστώσετε ότι, για ορισμένο μήκος κύματος, η τάση αποκοπής σε μια φωτολυχνία και η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων δεν εξαρτώνται από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
2. Να επιβεβαιώσετε πειραματικά τη γραμμική εξάρτηση της τάσης αποκοπής από τη συχνότητα f της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($V_{\alpha\pi} = \alpha f + b$).
3. Να προσδιορίσετε την τιμή της σταθεράς του Planck από τη γραφική παράσταση $V_{\alpha\pi} - f$.
4. Να προσδιορίσετε την οριακή συχνότητα για το Cs και να βρείτε το έργο εξαγωγής του.
5. Να παραστήσετε γραφικά τον ένταση του φωτορεύματος i σε συνάρτηση με την τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου V_{A-K} της φωτολυχνίας για διαφορετικές εντάσεις προσπίπτουσας ακτινοβολίας μήκους κύματος $\lambda = 475 \text{ nm}$.

A. Θεωρία

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η εκπομπή ηλεκτρονίων (φωτοηλεκτρονίων) από διάφορα υλικά (κυρίως μέταλλα) όταν προσπίπτει σε αυτά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατάλληλου μήκους κύματος.

Τα πειραματικά δεδομένα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

1. Για κάθε μέταλλο υπάρχει μία ελάχιστη συχνότητα προσπίπτουσας ακτινοβολίας (οριακή συχνότητα f_{op}) κάτω από την οποία το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν παρατηρείται, οσοδήποτε μεγάλη κι αν γίνει η ένταση της ακτινοβολίας.

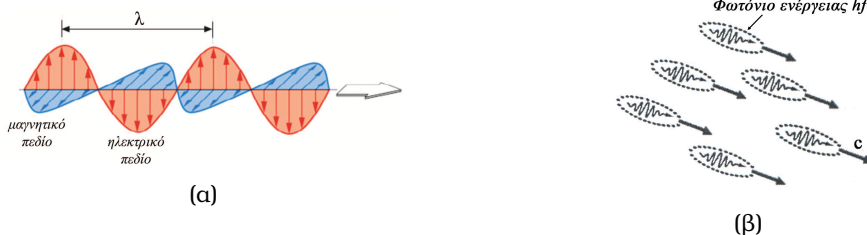
2. Η κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτοηλεκτρονίων παίρνει τιμές από το μηδέν μέχρι μια μέγιστη τιμή η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και όχι από την ένταση της.

3. Η εκπομπή των φωτοηλεκτρονίων συμβαίνει πρακτικά ακαριαία μετά την πρόσπτωση στη μεταλλική επιφάνεια της ακτινοβολίας.

4. Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται ανά μονάδα χρόνου είναι ανάλογος της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από κβάντα ενέργειας, τα λεγόμενα φωτόνια. Η ενέργεια ενός φωτονίου είναι ίση με $E = hf$, όπου h είναι η σταθερά του Planck και f η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Σχ. 1. Απεικόνιση της κλασικής (α) και της κβαντικής θεώρησης (β) της ακτινοβολίας.

Το κάθε φωτόνιο δίνει όλη την ενέργειά του σε ένα μόνο ελεύθερο ηλεκτρόνιο του μετάλλου, δηλαδή είναι μία ακέραιη οντότητα. Ένα μέρος της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται για την εξαγωγή του ηλεκτρονίου από το μέταλλο και το άλλο μέρος της, εφόσον περισσεύει, χρησιμοποιείται για να δώσει στο φωτοηλεκτρόνιο κινητική ενέργεια. Η εξαγωγή ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο απαιτεί ενέργεια, γιατί κατά την έξοδο του ηλεκτρονίου από το μέταλλο το τελευταίο φορτίζεται θετικά, οπότε το ηλεκτρόνιο πρέπει να ξεπεράσει την ηλεκτρική έλξη που δέχεται από το μέταλλο. Επειδή τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στο μέταλλο δεν έχουν όλα την ίδια ενέργεια, και καθ' οδόν προς την επιφάνεια συγκρούονται με τα ιόντα του μετάλλου, η ενέργεια που περισσεύει μετά την απορρόφηση του φωτονίου είναι διαφορετική για κάθε φωτοηλεκτρόνιο, με αποτέλεσμα η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων να ποικίλει από το μηδέν μέχρι μία μέγιστη τιμή K_{max} .

Η ελάχιστη ενέργεια που χρειάζεται να δοθεί στα ελεύθερα ηλεκτρόνια ενός μετάλλου ώστε αυτά να μπορέσουν να περάσουν την επιφάνεια του μετάλλου και να βρεθούν έξω από αυτό με μηδενική κινητική ενέργεια λέγεται *έργο εξαγωγής* ϕ και είναι μια ποσότητα χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο¹. Τόση ενέργεια χρειάζονται για να βγούν από το μέταλλο τα πιο ενεργειακά ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην επιφάνεια του μετάλλου. Τα ηλεκτρόνια αυτά αν απορροφήσουν την ενέργεια ενός φωτονίου hf θα έχουν τη μέγιστη δυνατή κινητική K_{max} . Από τη διατήρηση της ενέργειας για το κάθε απορροφώμενο φωτόνιο προκύπτει

$$K_{max} = hf - \phi \quad (\text{φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein})$$

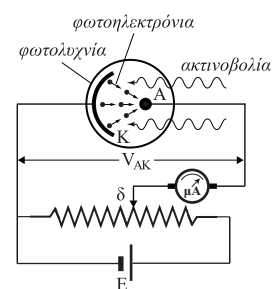
Σημειώνουμε, ότι μολοντί από ένα φωτόνιο μπορεί να παραχθεί ένα και μόνο ένα φωτοηλεκτρόνιο, δεν παράγουν όλα τα φωτόνια φωτοηλεκτρόνια. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από το αδιάστατο μέγεθος που ονομάζεται απόδοση², το οποίο δίνεται από το πηλίκο του πλήθους των φωτοηλεκτρονίων δια του πλήθους των προσπιπόντων φωτονίων.

Β. Η φωτολυχνία και η μέτρηση της σταθεράς του Planck

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο πραγματοποιείται πειραματικά με τη βοήθεια μιας λυχνίας, η οποία βρίσκεται σε κενό και φέρει δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια: την κάθοδο (Κ) και την άνοδο (Α). Η κάθοδος φέρει επίστρωση από καίσιο (Cs). Η φωτολυχνία είναι συνδεδεμένη σε κλειστό κύκλωμα στο οποίο υπάρχει μια πηγή τροφοδοσίας και ένα ποτενσιόμετρο (σχήμα 2), μέσω του οποίου είναι δυνατή η μεταβολή της τάσης $V_{A-K} = V_A - V_K$ η οποία εφαρμόζεται ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο (V_A , V_K είναι τα δυναμικά της ανόδου και της καθόδου αντίστοιχα).

Όταν στην κάθοδο πέφτει φως κατάλληλης συχνότητας παράγονται φωτοηλεκτρόνια τα οποία σχηματίζουν ένα νέφος ηλεκτρονίων στο χώρο μεταξύ ανόδου και καθόδου. Αν η άνοδος συνδεθεί με τον θετικό πόλο της πηγής και η κάθοδος με τον αρνητικό (ορθή πολικότητα, $V_{A-K} > 0$), το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ ανόδου-καθόδου ασκεί δύναμη στα φωτοηλεκτρόνια με κατεύθυνση από την κάθοδο προς την άνοδο (σχ. 2). Κάποια φωτοηλεκτρόνια επιταχύνονται και φτάνουν στην άνοδο σχηματίζοντας το φωτόρευμα, μερικά όμως απωθούνται από το νέφος ηλεκτρονίων που έχει σχηματιστεί και επιστρέφουν στην κάθοδο. Αν η V_{AK} αυξηθεί αρκετά τότε το φωτόρευμα φτάνει σε μια μέγιστη τιμή και παύει η αύξησή του. Αυτό συμβαίνει γιατί τότε όλα τα φωτοηλεκτρόνια που παράγονται φτάνουν στην άνοδο.

Αξιοσημείωτο είναι ότι αν η κάθοδος συνδεθεί με τον θετικό πόλο της πηγής και η άνοδος με τον αρνητικό υπάρχει φωτόρευμα για μικρές τιμές τάσης, παρόλο που το ηλεκτρικό πεδίο

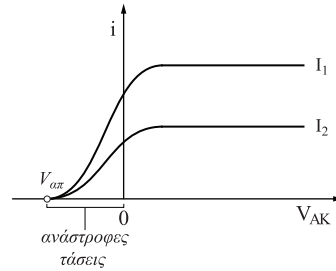


Σχ. 2. Φωτολυχνία με ορθή πολικότητα.

¹ Η τιμή του έργου εξαγωγής επηρεάζεται σημαντικά από τυχόν προσμίξεις που υπάρχουν στην επιφάνεια του μετάλλου και από το αν το μέταλλο βρίσκεται ή όχι σε κρυσταλλική μορφή.

² Η απόδοση εξαρτάται από την καθαρότητα της επιφάνειας του μετάλλου, από το είδος του μετάλλου και από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για τα περισσότερα μέταλλα η απόδοση είναι πολύ μικρή.

ασκεί δύναμη στα φωτοηλεκτρόνια με κατεύθυνση προς την κάθοδο και τα εμποδίζει να κινηθούν προς την άνοδο. Η ύπαρξη φωτορεύματος οφείλεται στο ότι πολλά φωτοηλεκτρόνια έχουν μεγάλη κινητική ενέργεια, οπότε κατορθώνουν και φθάνουν στην άνοδο κινούμενα ενάντια στη δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου. Με αυτή την πολικότητα σύνδεσης της πηγής είναι $V_{A-K} < 0$ και λέμε ότι στη λυχνία εφαρμόζεται αναστροφή τάση. Σε κάθε περίπτωση, το φωτόρευμα είναι από την άνοδο προς την κάθοδο ενώ η ροή των ηλεκτρονίων είναι από την κάθοδο προς την άνοδο. Στο σχήμα 3 φαίνεται η ένταση του φωτορεύματος i ως συνάρτηση της τάσης V_{A-K} για δύο ακτινοβολίες ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής έντασης I_1 και I_2 , με $I_1 > I_2$.



Σχ. 3

Όταν η τάση ανόδου-καθόδου είναι αρκετά αρνητική, κανένα ηλεκτρόνιο δεν φτάνει στην άνοδο. Η ελάχιστη απόλυτη τιμή της αναστροφής τάσης για την οποία δεν υπάρχει φωτόρευμα λέγεται *τάση αποκοπής* $V_{\alpha\pi}$ και εξαρτάται, για δεδομένη φωτολυχνία, μόνο από τη συχνότητα της ακτινοβολίας που πέφτει στην κάθοδο. Όταν $|V_{A-K}| = V_{\alpha\pi}$ τα φωτοηλεκτρόνια που βγαίνουν από την κάθοδο με μέγιστη κινητική ενέργεια K_{max} φτάνουν ελάχιστα πριν την άνοδο με μηδενική ταχύτητα (σχ. 4), οπότε από την τάση αποκοπής μπορούμε να βρούμε την K_{max} . Πράγματι, το έργο της ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το φωτοηλεκτρόνιο στη διαδρομή $K \rightarrow A$ είναι $(V_K - V_A)q_e$, οπότε:

$$(V_K - V_A)q_e = \Delta K \quad \text{ή} \quad V_{\alpha\pi}q_e = 0 - K_{max}$$

Επειδή $q_e = -e$, όπου e είναι η απόλυτη τιμή του φορτίου του ηλεκτρονίου, έχουμε:

$$V_{\alpha\pi}e = K_{max} \quad (1)$$

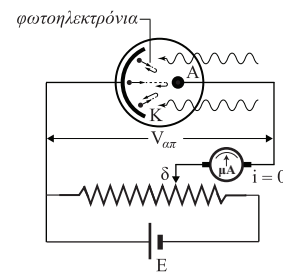
Λόγω της φωτοηλεκτρικής εξίσωσης του Einstein η τελευταία σχέση γίνεται:

$$V_{\alpha\pi}e = hf - \phi \quad \text{ή}$$

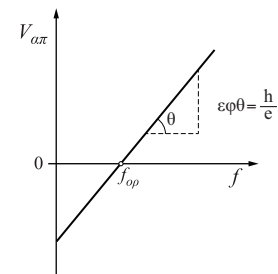
$$\boxed{V_{\alpha\pi} = \frac{h}{e}f - \frac{\phi}{e}} \quad (2)$$

Σύμφωνα με τη σχέση (2) η γραφική παράσταση $V_{\alpha\pi} - f$ είναι ευθεία γραμμή με κλίση h/e (σχ. 5). Επομένως, με γνωστό το φορτίο e , από τη κλίση της ευθείας $V_{\alpha\pi} - f$ μπορούμε να βρούμε τη σταθερά του Planck. Ακόμα από τη σχέση (2) προκύπτει ότι το σημείο τομής της γραφικής παράστασης $V_{\alpha\pi} - f$ με τον άξονα των f αντιστοιχεί στη συχνότητα $f = \phi/h$. Αυτή είναι η οριακή συχνότητα f_{op} για εξαγωγή ηλεκτρονίων από το μέταλλο της καθόδου (σχ. 5). Από την τιμή της f_{op} μπορούμε να υπολογίσουμε το έργο εξαγωγής του μετάλλου με τη σχέση

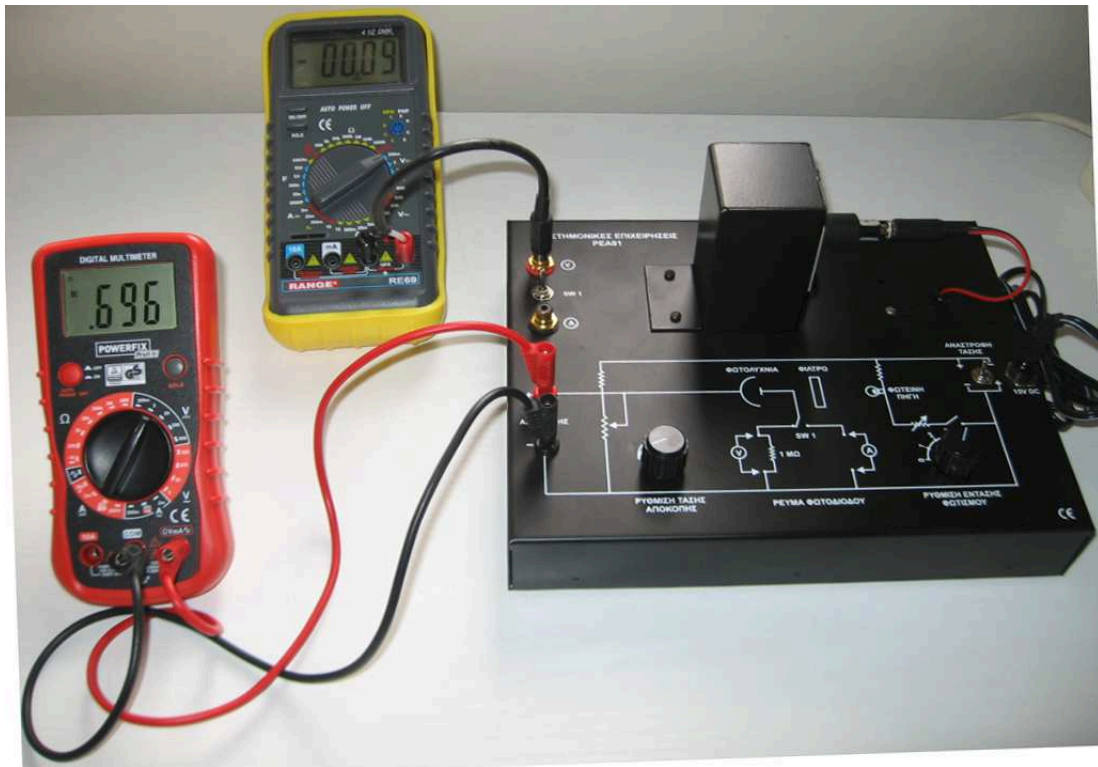
$$\boxed{\phi = hf_{op}} \quad (3)$$



Σχ. 4



Σχ. 5



Φύλλο εργασίας

ΟΝΟΜΑ

ΕΠΩΝΥΜΟ

ΤΜΗΜΑ

ΟΜΑΔΑ

Απαιτούμενα όργανα και συσκευές

- Συσκευή φωτοηλεκτρικού φαινομένου η οποία φέρει:
 - α. Φωτολυχνία της οποίας η κάθοδος έχει επίστρωση καισίου (Cs).
 - β. Υποδοχή τροφοδοσίας της συσκευής.
 - γ. Διακόπτη αναστροφής ανάστροφης τάσης.
 - δ. Κουμπιά ρύθμισης της φωτεινής έντασης και της ανάστροφης τάσης.
 - ε. Ομοαξονικές υποδοχές για σύνδεση βολτομέτρου (V) ή μικροαμπερομέτρου (A) στο κύκλωμα της φωτολυχνίας, επιλεγόμενες μέσω μεταγωγικού διακόπτη.
 - στ. Αδιαφανές κάλυμμα της φωτολυχνίας με κυκλική οπή.
- Τροφοδοτικό.
- 5 φωτεινές πηγές LED.
- Ευαίσθητο ψηφιακό πολύμετρο.
- Εργαστηριακό ψηφιακό πολύμετρο.

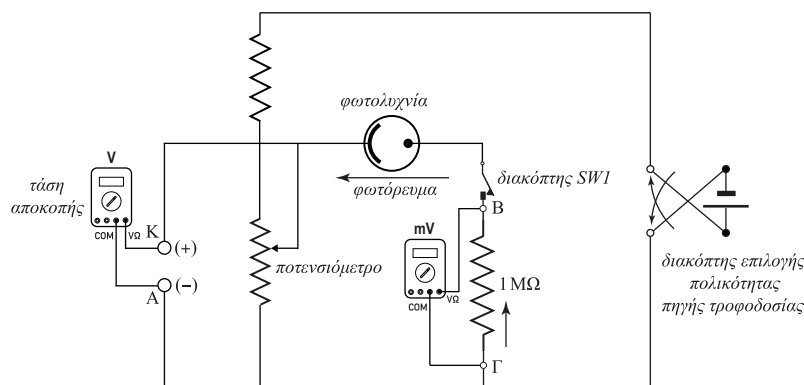
Πειραματική μέθοδος

Στην άσκηση αυτή αξιοποιείται το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο για τον προσδιορισμό της σταθεράς του Planck και του έργου εξαγωγής του Cs. Ο υπολογισμός της σταθεράς του Planck στηρίζεται στην εξίσωση (2) και του έργου εξαγωγής του Cs στην εξίσωση (3).

Για να κατασκευάσουμε τη γραφική παράσταση $V_{\alpha\pi} - f$, φωτίζουμε διαδοχικά τη φωτοκάθοδο με φως πέντε διαφορετικών συχνοτήτων, μετράμε τις αντίστοιχες τάσεις αποκοπής και σημειώνουμε τα πειραματικά σημεία στο διάγραμμα $V_{\alpha\pi} - f$. Κατόπιν χαράζουμε την καλύτερη ευθεία ανάμεσα στα πειραματικά σημεία.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα - ενδείξεις πολυμέτρων

Η φωτολυχνία είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό κύκλωμα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 6. Το βολτόμετρο (V) δίνει θετικές τιμές για ανάστροφες τάσεις και αρνητικές για τάσεις με ορθή πολικότητα. Τα βέλη δείχνουν τη φορά του φωτορεύματος. Το μιλλιβολτόμετρο (mV) δίνει την τάση $V_B - V_\Gamma$.

Στο κύκλωμα αυτό υπάρχει μία σταθερή πηγή τροφοδοσίας, ένα ποτενσιόμετρο με το οποίο μεταβάλλεται η τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου και ένας διακόπτης με τον οποίο επιλέγουμε την

πολικότητα της τάσης τροφοδοσίας. Όταν ο διακόπτης αυτός είναι γυρισμένος δεξιά τότε μεταξύ της ανόδου και της καθόδου εφαρμόζεται τάση με ορθή πολικότητα, ενώ όταν είναι γυρισμένος αριστερά εφαρμόζεται ανάστροφη τάση. Η τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου αυξάνεται (κατά μέτρο) περιστρέφοντας δεξιόστροφα το κουμπί του ποτενσιομέτρου και μετριέται με ένα βολτόμετρο που συνδεδεμένο στις μπόρνες Α και Κ. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6 το βολτόμετρο συνδέεται ώστε να δείχνει την τάση $V_{K-A} = V_K - V_A$. Άρα δίνει θετικές τιμές για αναστροφές τάσεις και αρνητικές για τάσεις με ορθή πολικότητα.

Η ένταση του φωτορεύματος δεν μετριέται άμεσα με μικροαμπερόμετρο, αλλά βρίσκεται από την τάση που αναπτύσσεται σε μιά αντίσταση $1\text{ M}\Omega$ η οποία είναι σε σειρά συνδεδεμένη με τη φωτολυχνία. Η μέτρηση της τάσης στην αντίσταση γίνεται με ευαίσθητο ψηφιακό πολύμετρο το οποίο λειτουργεί ως μιλλιβολτόμετρο. Το μιλλιβολτόμετρο συνδέεται στα άκρα Β και Γ της αντίστασης με ομοαξονικό καλώδιο. Η σύνδεση γίνεται από την υποδοχή V της συσκευής. Συνδέοντας το μιλλιβολτόμετρο όπως δείχνει το σχήμα 6 παίρνουμε πάντα αρνητικές τάσεις γιατί το φωτόρευμα έχει φορά από την άνοδο προς την κάθοδο ($\Gamma \rightarrow \text{B}$).

Πειραματική διαδικασία - Μέτρηση της τάσης αποκοπής

1. Γυρίστε το κουμπί «ρύθμιση τάσης αποκοπής» τέρμα αριστερά και το κουμπί «ρύθμιση έντασης φωτισμού» στη θέση 0.
2. Συνδέστε το τροφοδοτικό στη συσκευή και γυρίστε τον διακόπτη αναστροφής τάσης προς τα αριστερά.
3. Συνδέστε το μιλλιβολτόμετρο στην υποδοχή βολτομέτρου που σημειώνεται με V και γυρίστε τον επιλογέα στη θέση 200 mV DC. Γυρίστε τον διακόπτη SW1 προς την ένδειξη V .
4. Συνδέστε ένα πολύμετρο του εργαστηρίου στις μπόρνες εξόδου της τάσης αποκοπής και επιλέξτε την περιοχή μέτρησης 0-2 V DC.
5. Τοποθετήστε τη λυχνία LED στην υποδοχή στερέωσης των πηγών LED, που είναι προσαρμοσμένη στο κάλυμμα της φωτολυχνίας. Βυσματώστε το φισάκι τροφοδοσίας στο πίσω μέρος της πηγής LED.
6. Ανάψτε τη λυχνία LED γυρίζοντας δεξιόστροφα το κουμπί «ρύθμιση έντασης φωτισμού».
7. Αυξήστε σταδιακά την ανάστροφη τάση περιστρέφοντας το κουμπί του ποτενσιομέτρου δεξιόστροφα μέχρις ότου το πρώτο δεκαδικό ψηφίο της ένδειξης του μιλλιβολτομέτρου γίνει μηδέν. Αγνοήστε το δεύτερο δεκαδικό ψηφίο γιατί αντιστοιχεί σε εξαιρετικά μικρό ρεύμα και εμφανίζει αστάθεια. Στην κατάσταση αυτή θεωρούμε ότι δεν υπάρχει φωτόρευμα, οπότε η ένδειξη του βολτομέτρου (V) καταχωρίζεται στους πίνακες μετρήσεων ως η τάση αποκοπής.

Μετρήσεις

Α. Σχέση έντασης προσπίπτουσας ακτινοβολίας (λ =στ.)-τάσης αποκοπής/ K_{max} .

1. Τοποθετήστε τη λυχνία LED που ακτινοβολεί σε $\lambda = 590 \text{ nm}$ στην υποδοχή της συσκευής του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.
2. Γυρίστε διαδοχικά το κουμπί «ρύθμιση έντασης φωτισμού» στις θέσεις 1, 2, 3 και 4 και μετρήστε τις αντίστοιχες τάσεις αποκοπής.
3. Καταχωρίστε τις τιμές που μετρήσατε στον πίνακα 1 και υπολογίστε για καθεμία από αυτές την K_{max} .
4. Επαναλάβετε προηγούμενη διαδικασία για τη λυχνία LED που ακτινοβολεί σε $\lambda = 475 \text{ nm}$ και συμπληρώστε τον πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

$\lambda = 590 \text{ nm}$		
Ένταση φωτισμού	Τάση αποκοπής $V_{\alpha\pi}$ (mV)	Κινητική ενέργεια (max.) φωτοηλεκτρονίων ($\times 10^{-19} \text{ J}$)
Θέση 1		
Θέση 2		
Θέση 3		
Θέση 4		

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

$\lambda = 475 \text{ nm}$		
Ένταση φωτισμού	Τάση αποκοπής $V_{\alpha\pi}$ (mV)	Κινητική ενέργεια (max.) φωτοηλεκτρονίων ($\times 10^{-19} \text{ J}$)
Θέση 1		
Θέση 2		
Θέση 3		
Θέση 4		

Συμπέρασμα:

.....

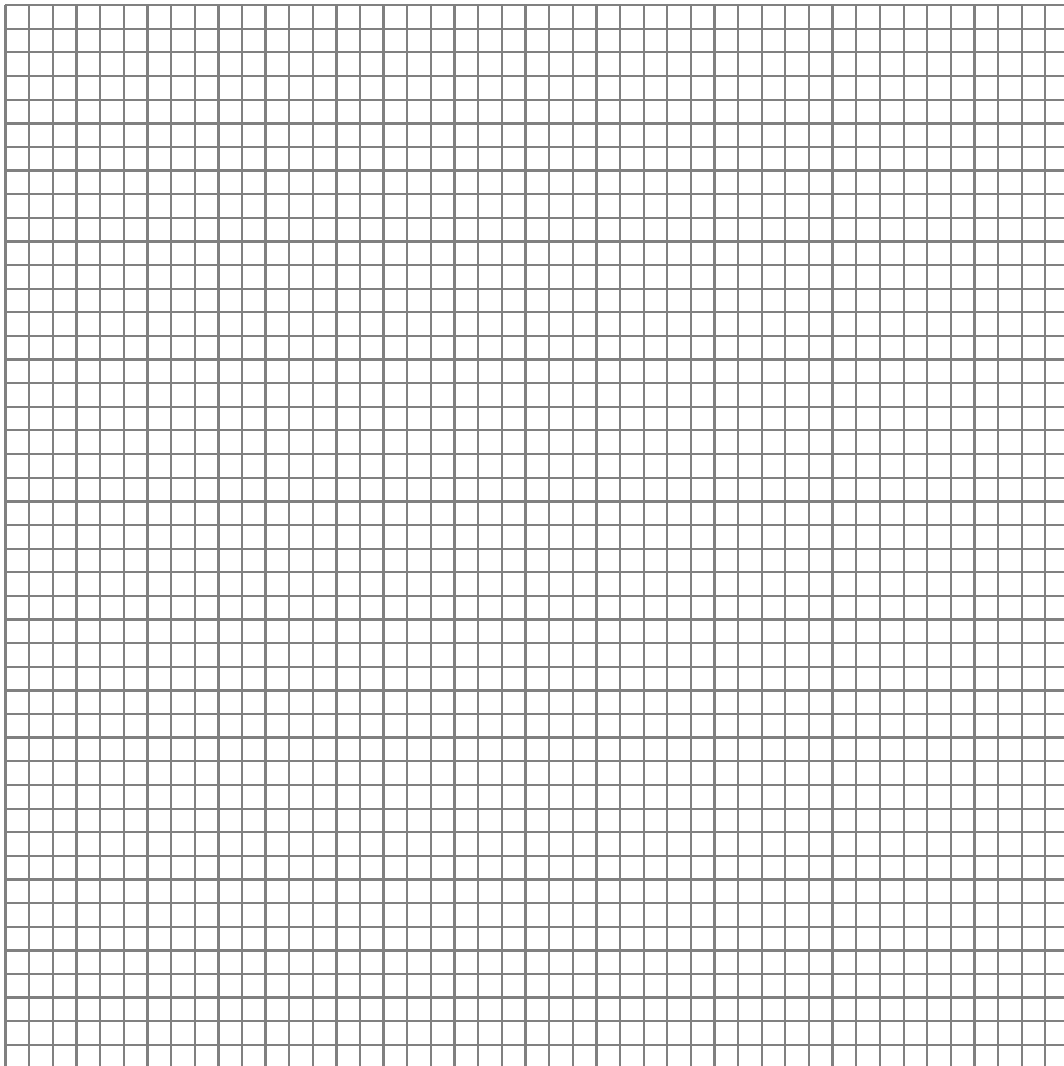
.....

Β. Σχέση συχνότητας προσπίπτουσας ακτινοβολίας-τάσης αποκοπής/ K_{max} .

Τοποθετήστε διαδοχικά τις λυχνίες LED στην υποδοχή στερέωσης της συσκευής και μετρήστε τις αντίστοιχες τάσεις αποκοπής. Οι μετρήσεις να γίνουν με το κουμπί «ρύθμιση έντασης φωτισμού» γυρισμένο στη θέση 4 που αντιστοιχεί στη μέγιστη φωτεινότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

α/α λυχνίας	Μήκος κύματος λ (nm)	Συχνότητα f ($\times 10^{14}$ Hz)	Τάση αποκοπής $V_{\alpha\pi}$ (mV)	Κινητική ενέργεια K_{max} ($\times 10^{-19}$ J)
1	630	4,61		
2	590	5,08		
3	525	5,66		
4	475	6,31		
5	450	6,66		



Επεξεργασία της γραφικής παράστασης $V_{\alpha\pi} - f$.

1. Παρατηρήστε τα πειραματικά σημεία στο διάγραμμα $V_{\alpha\pi} - f$. Η γραμμή που παριστάνει τη σχέση $V_{\alpha\pi} - f$ είναι ευθεία ή καμπύλη; Χαράξτε τη καλύτερη δυνατή γραμμή η οποία ταιριάζει στα πειραματικά σημεία. Πως εξαρτάται η τάση αποκοπής/ K_{max} από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

.....

.....

2. Διαλέξτε δύο σημεία της ευθείας $V_{\alpha\pi} - f$, που να απέχουν αρκετά μεταξύ τους, όχι απαραίτητα πειραματικά (εάν υπάρχουν τέτοια πάνω στην ευθεία), και προσδιορίστε τις συντεταγμένες τους $(f_1, V_{\alpha\pi,1}), (f_2, V_{\alpha\pi,2})$ με $f_2 > f_1$.

$f_1 =$	$V_{\alpha\pi,1} =$
$f_2 =$	$V_{\alpha\pi,2} =$

Υπολογίστε τη κλίση κ της ευθείας και γράψτε το αποτέλεσμα με τις μονάδες του στο (S.I.):

$$\kappa = \frac{\Delta V_{\alpha\pi}}{\Delta f} = \frac{V_{\alpha\pi,2} - V_{\alpha\pi,1}}{f_2 - f_1} = \frac{\quad}{\quad} =$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (2) της σελίδας 3 είναι $\kappa = \frac{h}{e}$

Με γνωστό ότι $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, η τιμή της σταθεράς του Planck βρίσκεται ίση με:

$$h =$$

3. Η αποδεκτή τιμή για τη σταθερά του Planck είναι: $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s. Βρείτε το επί τοις εκατό σφάλμα στον πειραματικό προσδιορισμό της τιμής της σταθεράς του Planck.

$$\sigma\% = \frac{\quad}{\quad} \times 100 =$$

4. Από το διάγραμμα $V_{\alpha\pi} - f$ προκύπτει ότι η οριακή συχνότητα για την εξαγωγή ηλεκτρονίων από το Cs είναι:

$$f_{op} =$$

Με γνωστό ότι $h = 4,13 \cdot 10^{-15}$ eV·s, το έργο εξαγωγής ϕ_{Cs} σε eV του καϊσίου προκύπτει:

$$\phi_{Cs} =$$

5. Από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι $\phi_{Cs} = 1,95$ eV. Βρείτε το επί τοις εκατό σφάλμα στον πειραματικό προσδιορισμό της τιμής της του ϕ_{Cs} .

$$\sigma\% = \frac{\quad}{\quad} \times 100 =$$

Γ. Σχέση έντασης προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($\lambda = \text{στ.}$)-φωτορεύματος.

1. Τοποθετήστε τη λυχνία LED με $\lambda = 590 \text{ nm}$ στην υποδοχή στερέωσης της συσκευής.
2. Γυρίστε τον επιλογέα του πολυμέτρου που λειτουργεί ως μιλλιβολτόμετρο αρχικά στη θέση 2V DC και όταν η τάση ξεπεράσει αυτή την τιμή γυρίστε τον επιλογέα στη θέση 20V DC.
3. Γυρίστε το διακόπτη αντιστροφής τάσης προς τα δεξιά, ώστε να τροφοδοτείται η φωτολυχνία με τάση ορθής πολικότητας.

4. Γυρίστε το κουμπί της ρύθμισης της τάσης τροφοδοσίας V_{A-K} τέρμα αριστερά ($V_{A-K} = 0$) και το κουμπί της ρύθμισης της έντασης φωτισμού αρχικά στη θέση (1) και κατόπιν στις θέσεις (2), (3) και (4), ελέγχοντας αν για κάποια ένταση υπάρχει φωτόρευμα. Καταχωρήστε τις τιμές του φωτορεύματος στην πρώτη γραμμή του πίνακα 4.

Αυξήστε την τάση V_{A-K} από το 0 έως τα 5V με βήματα ανά 0,5V, και καταχωρήστε στον πίνακα 4 για κάθε τιμή της V_{A-K} τις τιμές της έντασης του φωτορεύματος που αντιστοιχούν στις τέσσερις διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας. Οι εντάσεις του φωτορεύματος να καταχωρηθούν με δύο δεκαδικά ψηφία.

• Πως βρίσκουμε την ένταση του φωτορεύματος. Επειδή το μιλλιβολτόμετρο μετράει την τάση πάνω στην αντίσταση των 1MΩ η ένδειξή του, αγνοώντας το αρνητικό πρόσημο, ισούται αριθμητικά με την ένταση του φωτορεύματος σε μA ($V:M\Omega \rightarrow \mu\text{A}$).

5. Τοποθετήστε τα πειραματικά σημεία σε διάγραμμα $V-i$. Για την κατασκευή του διαγράμματος χρησιμοποιείστε τα σύμβολα :

- α. για τις μετρήσεις με το κουμπί έντασης της ακτινοβολίας στη θέση (1): [•]
- β. για τις μετρήσεις με το κουμπί έντασης της ακτινοβολίας στη θέση (2): [+]
- γ. για τις μετρήσεις με το κουμπί έντασης της ακτινοβολίας στη θέση (3): [×]
- δ. για τις μετρήσεις με το κουμπί έντασης της ακτινοβολίας στη θέση (4): [*]

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

V_{A-K} (V)	Θέση 1 $i (\mu\text{A})$	Θέση 2 $i (\mu\text{A})$	Θέση 3 $i (\mu\text{A})$	Θέση 4 $i (\mu\text{A})$
0,0				
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				
2,5				
3,0				
3,5				
4,0				
4,5				
5,0				

