

ΑΣΚΗΣΗ 1

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΤΟΥ PLANCK

(με την βοήθεια του φωτοηλεκτρικού φαινομένου)

Σκοπός της άσκησης είναι ο προσδιορισμός της σταθεράς του Planck. Η σταθερά του Planck είναι μία πολύ σημαντική σταθερά, αφού υπεισέρχεται σε όλους σχεδόν τους τύπους της Κβαντικής Φυσικής, αποτελώντας, έτσι, ένα βασικό χαρακτηριστικό του μικρόκοσμου. Μία από τις μεθόδους προσδιορισμού της είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

1. ΘΕΩΡΙΑ

A. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και η κβαντική φύση του φωτός

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ονομάζεται η αλληλεπίδραση φωτονίου – ύλης με δέσμια ηλεκτρόνια. Η αλληλεπίδραση αυτή έχει σαν συνέπεια την εκπομπή ηλεκτρονίων από διάφορα υλικά (κυρίως μέταλλα), όταν προσπίπτει σ' αυτά φωτεινή ακτινοβολία κατάλληλου μήκους κύματος.

Τα κύρια πειραματικά χαρακτηριστικά του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι:

1. Η εκπομπή των φωτοηλεκτρονίων γίνεται ακαριαία, δηλαδή χωρίς καμιά μετρήσιμη χρονική καθυστέρηση από την πρόσπτωση της ακτινοβολίας.
2. Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται είναι ανάλογος της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
3. Η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων έχει συνεχές φάσμα, με τιμές από το μηδέν ως μία συγκεκριμένη τιμή T_{\max} . Η T_{\max} είναι ανεξάρτητη από την ένταση της φωτεινής δέσμης και αυξάνεται γραμμικά με την συχνότητα ν της ακτινοβολίας.
4. Υπάρχει μία χαρακτηριστική συχνότητα κατωφλίου ν_0 (που εξαρτάται μόνο από το υλικό) κάτω από την οποία το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν γίνεται, οσοδήποτε μεγάλη και αν γίνει η ένταση της ακτινοβολίας.

46 Μέτρηση της σταθεράς του Planck

Το φαινόμενο, γνωστό ήδη από το τέλος του 19ου αιώνα, αποτέλεσε μία από τις κυριότερες ενδείξεις των αδυναμιών της κλασικής φυσικής. Η ερμηνεία του έγινε δυνατή μόνο στα πλαίσια της κβαντικής φυσικής και συγκεκριμένα μετά την εισαγωγή της άποψης για την ενεργειακή κβάντωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ιδέα προτάθηκε το 1900 από τον Planck (βραβείο Nobel, 1918), ο οποίος, για να εξηγήσει την μορφή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος του μέλανος σώματος, θεώρησε ότι η ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, κατά την εκπομπή ή την απορρόφηση τους από το μέλαν σώμα, μεταβάλλεται ασυνεχώς, δηλαδή κατά μικρές αδιαίρετες ποσότητες E τις οποίες ονόμασε κβάντα. Η ενέργεια E του κάθε κβάντου βρέθηκε ότι εξαρτάται μόνο από την συχνότητα ν της ακτινοβολίας, σύμφωνα με την σχέση:

$$E = h\nu \quad (1.1)$$

Η σταθερά αναλογίας h ονομάστηκε σταθερά του Planck και έχει τιμή:

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad \text{ή}$$

$$h = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

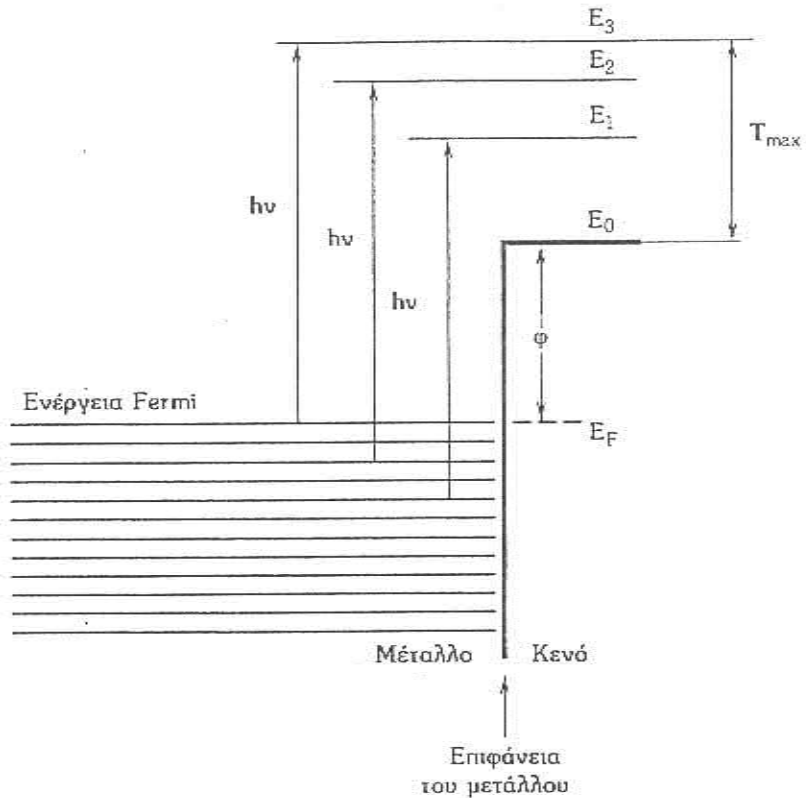
Η ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου δόθηκε το 1905 από τον Einstein (βραβείο Nobel, 1921), ο οποίος χρησιμοποίησε και επεξέτεινε την ιδέα του Planck για την κβάντωση της ενέργειας, θεωρώντας ότι το κάθε κβάντο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι μία αυτόνομη οντότητα, ένα είδος σωματιδίου, ανεξάρτητο από τον εκπομπό ή τον δέκτη της ακτινοβολίας. Τα κβάντα του φωτός ονομάστηκαν *φωτόνια*.

Στην γλώσσα των φωτονίων, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχει ως εξής: το κάθε φωτόνιο, δρώντας ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα φωτόνια της δέσμης, μπορεί να δώσει όλη την ενέργειά του σε ένα δέσμιο ηλεκτρόνιο του υλικού και να προκαλέσει την εξαγωγή του. Για να συμβεί αυτό, πρέπει η ενέργεια του φωτονίου $h\nu$ να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το έργο w που απαιτείται για την απόσπαση του συγκεκριμένου ηλεκτρονίου από το υλικό. Το φωτοηλεκτρόνιο, μετά την έξοδό του, κινείται πλέον ελεύθερα στον χώρο, έχοντας κινητική ενέργεια T ίση με το υπόλοιπο της ενέργειας του φωτονίου:

$$T = h\nu - w \quad (1.2)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το έργο w διαφέρει από ηλεκτρόνιο σε ηλεκτρόνιο. Αυτό οφείλεται στην ποικιλία των ενεργειακών καταστάσεων των ηλεκτρονίων μέσα στο στερεό. Έτσι, το w είναι μεγάλο για τα ηλεκτρόνια που είναι ισχυρά συνδεδεμένα στα άτομα του υλικού και μικρότερο για τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας που είναι δέσμια στο σύνολο του υλικού. Αλλά και τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας δεν έχουν όλα την ίδια ενέργεια. Η ενέργειά τους παίρνει διάφορες τιμές, με μέγιστη (στην θερμοκρασία του απολύτου μηδενός) την ενέργεια Fermi, σχήμα 1.1. Επίσης, διαφορετική είναι και η απώλεια της ενέργειας, λόγω των εσωτερικών σκεδάσεων που υφίστανται τα ηλεκτρόνια κατά την έξοδό τους από διαφορετικά βάρη του υλικού. Το ελάχιστο έργο που απαιτείται για την διαφυγή από ένα μέταλλο των ηλεκτρονίων της στάθμης Fermi ονομάζεται *έργο εξόδου* ϕ και είναι μία ποσότητα χαρακτηριστική του κάθε μετάλλου. Προφανώς, όταν $w = \phi$, η κινητική ενέργεια του εκπεμπόμενου ηλεκτρονίου γίνεται μέγιστη, οπότε η σχέση (1.2) γράφεται:

$$T_{\max} = h\nu - \phi \quad (1.3)$$



Σχήμα 1.1 Η ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων σε ένα μέταλλο. Η ενεργειακή στάθμη του κενού είναι $E_0 = \phi + E_F$. Όταν στο μέταλλο προσπίπτουν φωτόνια συχνότητας ν όλα τα ηλεκτρόνια προσλαμβάνουν την ίδια ενέργεια $h\nu$. Όμως, η κινητική τους ενέργεια δεν είναι ίδια. Η ενέργεια E_3 αντιστοιχεί στα φωτοηλεκτρόνια με την μέγιστη κινητική ενέργεια $T_{\max} = h\nu - \phi$.

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή σαν *φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein* και είναι απόρροια της εφαρμογής της αρχής της διατήρησης της ενέργειας για το κάθε απορροφώμενο φωτόνιο. Αν, τώρα, εφαρμόσουμε την αρχή της διατήρησης της ορμής στο σύστημα φωτονίου – ηλεκτρονίου (το φωτόνιο έχει ορμή $h\nu/c$, όπου $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ η ταχύτητα του φωτός στο κενό), θα διαπιστώσουμε ότι το φαινόμενο δεν είναι δυνατό να συμβεί με ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο που συμμετέχει στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο πρέπει απαραίτητα να είναι συνδεδεμένο σε κάποιο άλλο σώμα (άτομο ή στερεό) ο ρόλος του οποίου είναι να προσλάβει την ορμή ανάκρουσης.

Η χαρακτηριστική συχνότητα κατωφλίου ν_0 προκύπτει, θεωρητικά, από την σχέση (1.3), αν γνωρίζουμε το έργο εξόδου ϕ του υλικού. Θεωρώντας ότι πρέπει $T_{\max} \geq 0$, προκύπτει $h\nu \geq \phi$, ή ισοδύναμα:

$$\nu \geq \frac{\phi}{h} = \nu_0 \quad (1.4)$$

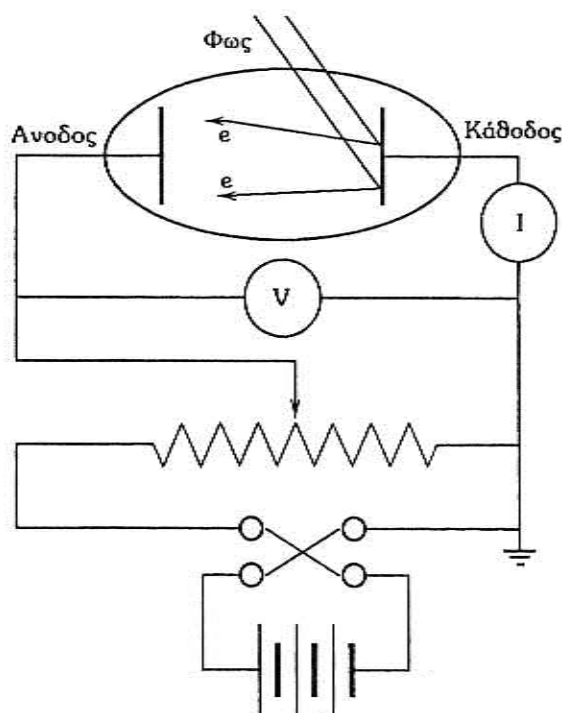
Επειδή το έργο εξόδου ϕ είναι συνήθως μεταξύ 2 και 5 eV, γίνεται φανερό ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει πρέπει να έχει συχνότητα μεγαλύτερη από $2 \text{ eV}/h = 0,5 \times 10^{15} \text{ Hz}$ για να προκαλέσει φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στα διάφορα υλικά. Πρέπει δηλαδή να ανήκει στην περιοχή του ορατού φωτός προς το ιώδες, ή στην περιοχή του υπεριώδους. Ας σημειωθεί ότι, επειδή το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μπορεί να συμβεί και με τα ισχυρά δέσματα ηλεκτρόνια των εσωτερικών

φλοιών των ατόμων, δεν υπάρχει συγκεκριμένο άνω όριο στην συχνότητα ή στην ενέργεια της ακτινοβολίας, απλά η πιθανότητα να συμβεί το φαινόμενο μειώνεται σημαντικά με την ενέργεια μέχρις ότου, στην περιοχή των MeV, γίνεται πρακτικά αμελητέα σε σχέση με τους άλλους τρόπους αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με την ύλη.

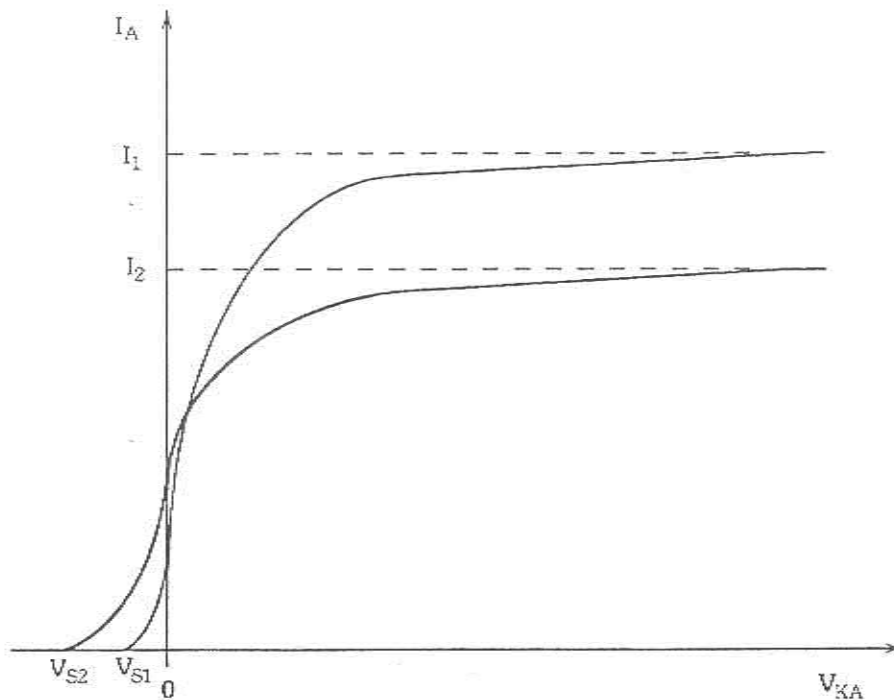
B. Το φωτοκύτταρο και η μέτρηση της σταθεράς του Planck

Η καταλληλότερη διάταξη για την μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι το φωτοκύτταρο, σχήμα 1.2. Αυτό είναι μιά αερόκενη δίοδος ηλεκτρονική λυχνία, την κάθοδο της οποίας αποτελεί μιά φωτοευαίσθητη μεταλλική επιφάνεια. Για να είναι η διάταξη ευαίσθητη και στην υπεριώδη ακτινοβολία, η λυχνία είναι κατασκευασμένη από χαλαζία, ένα υλικό που είναι διαφανές στο υπεριώδες. Αυτό που μπορούμε να προσδιορίσουμε πειραματικά με το φωτοκύτταρο είναι η ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται, για διάφορες συχνότητες, με την εφαρμογή ενός επιβραδύνοντος δυναμικού μεταξύ της καθόδου και της ανόδου.

Όταν στην φωτοκάθοδο πέφτει φως μιάς συχνότητας μεγαλύτερης από την συχνότητα κατωφλίου ν_0 , η κάθοδος εκπέμπει φωτοηλεκτρόνια. Με ορθή πόλωση (επιταχύνον δυναμικό) τα ηλεκτρόνια δημιουργούν το ανοδικό ρεύμα, το οποίο μετράμε με ένα ευαίσθητο ηλεκτρόμετρο και συλλέγονται στην άνοδο. Το ανοδικό ρεύμα I_A σαν συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης V_{AK} δίνει την χαρακτηριστική καμπύλη του φωτοκύτταρου, σχήμα 1.3, για τα συγκεκριμένα κάθε φορά χαρακτηριστικά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (συχνότητα και ένταση). Για μεγάλες τιμές της τάσης παρατηρούμε ότι το φωτόρευμα σταθεροποιείται σε μιά μέγιστη τιμή I_1 , αντιπροσωπευτικής της ολικής φωτοηλεκτρικής εκπομπής, ενώ για μικρές τιμές μειώνεται καθώς το επιταχύνον δυναμικό πλησιάζει το μηδέν.



Σχήμα 1.2 Η συνδεσμολογία ενός φωτοκύτταρου για την μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.



Σχήμα 1.3 Οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος – τάσης ενός φωτοκύτταρου όταν προσπίπτουν σ' αυτό δύο ακτινοβολίες διαφορετικής έντασης και συχνότητας ($I_1 > I_2$, $\nu_1 < \nu_2$).

Αξιοσημείωτο είναι ότι για μηδενική τάση, ή και για μικρές τιμές της επιβραδύνουσας τάσης, το φωτόρευμα εξακολουθεί να έχει κάποια θετική τιμή. Η εφαρμογή του επιβραδύνοντος δυναμικού V έχει σαν συνέπεια, τα ηλεκτρόνια που φεύγουν από την κάθοδο με ενέργεια E_i , να φτάνουν στην άνοδο με ενέργεια $E_f = E_i - eV$. Προφανώς, τα ηλεκτρόνια με αρχική ενέργεια E_i μικρότερη από eV , δεν φτάνουν στην άνοδο. Το ανοδικό ρεύμα θα μηδενιστεί όταν το επιβραδύνον δυναμικό πάρει μια κρίσιμη τιμή V_s τέτοια ώστε και τα πιο ενεργειακά ηλεκτρόνια (με αρχική ενέργεια $E_i = T_{\max}$), να μη φτάνουν στην άνοδο. Για το δυναμικό αυτό ισχύει:

$$eV_s = T_{\max} \quad (1.5)$$

Το δυναμικό V_s ονομάζεται *δυναμικό αποκοπής (stopping potential)* και εξαρτάται, για δεδομένο φωτόκυτταρο, μόνο από την συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Πράγματι, λόγω της φωτοηλεκτρικής εξίσωσης του Einstein, σχέση (1.3), η σχέση (1.5) γίνεται:

$$eV_s = h\nu - \varphi \quad \acute{\eta}$$

$$V_s = \frac{h}{e}\nu - \frac{\varphi}{e} \quad (1.6)$$

Παρατηρούμε ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του δυναμικού αποκοπής V_s και της συχνότητας ν της ακτινοβολίας. Η κλίση της ευθείας ισούται με h/e . Θεωρώντας το φορτίο e γνωστό, μπορεί να μας δώσει την σταθερά του Planck.

Η μέτρηση της σταθεράς του Planck με τον τρόπο αυτόν έγινε για πρώτη φορά από τον Millikan το 1916. Επειδή το πείραμά του, εκτός από την ακριβή τιμή της σταθεράς του Planck που έδωσε, αποτέλεσε και μιά σημαντική επιβεβαίωση της θεω-

50 Μέτρηση της σταθεράς του Planck

ρίας του Einstein για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και την κβαντική φύση του φωτός, ο Millikan τιμήθηκε με το βραβείο Nobel το 1923.

Από την σχέση (1.6) μπορεί να προκύψει και το έργο εξόδου του υλικού της φωτοκαθόδου από την τιμή της τετμημένης επί την αρχή ϕ/e .

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από μία φωτεινή πηγή, μία οπτική διάταξη για την λήψη μονοχρωματικής ακτινοβολίας, ένα φωτοκύτταρο, τροφοδοτικά για την φωτεινή πηγή και το φωτοκύτταρο και όργανα μέτρησης της διαφοράς δυναμικού ανόδου – καθόδου (βολτόμετρο) και του ρεύματος του φωτοκύτταρου (ηλεκτρόμετρο).

Η φωτεινή πηγή αποτελείται από μία φασματική λυχνία Hg. Οι κύριες φασματικές γραμμές του Hg παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1
Οι κύριες φασματικές γραμμές του Hg.

Χρώμα	λ (nm)	ν (10^{12} Hz)	Χρώμα	λ (nm)	ν (10^{12} Hz)
Κόκκινο	690,8	4343	Κίτρινο	577,0	5199
Πράσινο	546,1	5493	Κυανοπράσινο	491,6	6102
Κυανό	435,8	6884	Ιώδες	404,7	7413
Υπεριώδες	365,1	8197	Υπεριώδες	312,5	9600
Υπεριώδες	253,5	11834			

Η οπτική διάταξη που αναλύει την πολυχρωματική ακτινοβολία από την φασματική λυχνία είναι είτε ένα πρίσμα ανάλυσης που συνοδεύεται από φακούς και διαφράγματα (οπότε η αλλαγή της συχνότητας γίνεται με μικρές μετατοπίσεις του φωτοκύτταρου), είτε μία συστοιχία οπτικών φίλτρων (οπότε η αλλαγή της συχνότητας γίνεται με την παρεμβολή του κατάλληλου φίλτρου μεταξύ της φασματικής λυχνίας και του φωτοκύτταρου). Από τις παραπάνω φασματικές γραμμές του Hg, το ποιές συχνότητες είναι διαθέσιμες για το πείραμα εξαρτάται από την οπτική διάταξη. Έτσι, στην περίπτωση του πρίσματος ανάλυσης μπορούμε να παρατηρήσουμε τις γραμμές του πίνακα 1.2.

Τα οπτικά φίλτρα που διαθέτουμε είναι οπτικά φράγματα διαπερατά σε ένα εύρος 1% περί τα μήκη κύματος: 578 nm, 546 nm, 436 nm, 405 nm και 366 nm. Επομένως, οι διαθέσιμες συχνότητες είναι, πίνακας 1.3:

Πίνακας 1.2

Οι διαθέσιμες ρασματικές γραμμές του Hg
με πρισματικό ρασματογράφο.

Χρώμα	λ (nm)	ν (10^{12} Hz)
Κίτρινο	577,0	5199
Πράσινο	546,1	5493
Κυανοπράσινο	491,6	6102
Κυανό	435,8	6884
Ιώδες	404,7	7413

Πίνακας 1.3

Μήκη κύματος των γραμμών του Hg που διέρχονται
από τα οπτικά φίλτρα.

Φίλτρο	Χρώμα	λ (nm)	ν (10^{12} Hz)
1	Κίτρινο	577,0	5199
2	Πράσινο	546,1	5493
3	Κυανό	435,8	6884
4	Ιώδες	404,7	7413
5	Υπεριώδες	365,1	8197

Το φωτοκύτταρο αποτελείται από μιά αερόκενη λυχνία από χαλαζία, με κάθοδο επιμεταλλωμένη με κάλιο και άνοδο από πλάτινα. Είναι τοποθετημένη σε κυλινδρική μεταλλική υποδοχή, η οποία παρέχει μηχανική στήριξη, προστασία και οπτική και ηλεκτροστατική θωράκιση.

Η φωτεινή πηγή, η οπτική διάταξη και το φωτοκύτταρο είναι τοποθετημένα σε ένα φωτοστεγές κιβώτιο που τα απομονώνει από τον φωτισμό του δωματίου.

Το τροφοδοτικό χαμηλών τάσεων περιέχει στο φωτοκύτταρο ορθή πόλωση από 0 ως +12 volts και ανάστροφη πόλωση από 0 ως - 5 volts. Την τάση αυτή την μετράμε με ένα βολτόμετρο που είναι συνδεδεμένο στα ηλεκτρόδια του φωτοκύτταρου.

Η μέτρηση του φωτορεύματος, που είναι της τάξης των 10^{-11} ως 10^{-13} A, γίνεται με ένα ευαίσθητο ηλεκτρόμετρο (KEITHLEY 610 C). Λόγω της μεγάλης εσωτερικής αντίστασης του οργάνου, απαιτείται κάποιος χρόνος για την σωστή μέτρηση του ρεύματος μετά από κάθε αλλαγή της τάσης. Η ύπαρξη ρευμάτων διαρροής σε διάφορα σημεία της διάταξης (τα οποία είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το φωτόρευμα), μας υποχρεώνει να είμαστε προσεκτικοί ώστε να έχουμε καλές ηλεκτρικές επαφές και καθαρές μονώσεις, όπου απαιτείται. Επίσης, συνιστάται η μέτρηση του ρεύματος σκότους της λυχνίας, σαν συνάρτηση της ανάστροφης πόλωσης ώστε να γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις, αν κριθεί αναγκαίο.

Η καμπύλη του φωτορεύματος σαν συνάρτηση της τάσης δεν είναι, εν γένει, ευθεία. Για να βρεθεί το δυναμικό αποκοπής, παίρνουμε 5 - 10 ζεύγη τιμών φωτορεύματος - ανάστροφης πόλωσης και κάνουμε την γραφική παράσταση του ρεύματος

52 Μέτρηση της σταθεράς του Planck

σαν συνάρτηση της ανάστροφης τάσης. Η καμπύλη η οποία προκύπτει τέμνει τον άξονα της τάσης στο V_s . Το πειραματικό σφάλμα στο V_s βρίσκεται γραφικά, θεωρώντας το σφάλμα στην μέτρηση του φωτορεύματος ίσο με το σφάλμα της χρησιμοποιούμενης κλίμακας του ηλεκτρόμετρου (βλέπε Παράρτημα 1).

III. ΟΡΓΑΝΑ

1. Φωτεινή πηγή (φασματική λυχνία Hg).
2. Οπτική διάταξη για την λήψη μονοχρωματικής ακτινοβολίας.
3. Φωτοκύτταρο με κάθοδο από κάλιο.
4. Τροφοδοτικό της φωτεινής πηγής.
5. Τροφοδοτικό του φωτοκύτταρου.
6. Βολτόμετρο.
7. Ηλεκτρόμετρο, Keithley 610 C.
8. Καλώδια σύνδεσης.

IV. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

1. Αναγνωρίστε τις συσκευές. Για την περιγραφή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρόμετρου βλέπε στο Παράρτημα 1.
2. Ανάψτε το τροφοδοτικό της λυχνίας Hg.

ΠΡΟΣΟΧΗ

Μην σβήσετε το τροφοδοτικό της λυχνίας Hg πριν από το τέλος της άσκησης. Αν τυχόν σβήσει κατά την διάρκεια της άσκησης μην το ανάβετε αν δεν περάσουν τουλάχιστον 15 min. Μιά βραχυχρόνια διακοπή της λειτουργίας της λυχνίας Hg μπορεί να την καταστρέψει.

3. Βάλτε τον διακόπτη ελέγχου μέτρησης του ηλεκτρόμετρου στην θέση LOCK και ανάψτε το όργανο (διακόπτης οργάνου στην θέση OFF). Επιλέξτε με τον διακόπτη κλίμακας B την θέση ' 10^{-11} Ampere'. Μετά από μερικά λεπτά βάλτε τον διακόπτη οργάνου στην θέση +. Κάντε διόρθωση του μηδενός.

ΠΡΟΣΟΧΗ

Αλλαγή της θέσης του διακόπτη κλίμακας B σημαίνει αλλαγή της εσωτερικής αντίστασης του οργάνου. Μετρήσεις που ελήφθησαν με διαφορετικές θέσεις αυτού του διακόπτη δεν έχουν εσωτερική συνοχή.

Μετά από κάθε αλλαγή κλίμακας κάντε έλεγχο του μηδενός και διόρθωση, αν χρειάζεται.

4. Φροντίστε ώστε στην κάθοδο του φωτοκύτταρου να πέφτει μιά από τις διαθέσιμες μονοχρωματικές ακτινοβολίες, με την επιλογή ενός φίλτρου ή με την κατάλληλη μετατόπιση του φωτοκύτταρου, με την βοήθεια του κοχλίου και ενός λευκού χαρτιού. Πόση είναι η ενέργεια (σε eV) των φωτονίων της ακτινοβολίας;

5. Ανάψτε το τροφοδοτικό του φωτοκύτταρου, βάλτε τάση ίση με μηδέν και μετρήστε το φωτόρευμα. Γιατί υπάρχει ρεύμα για τάση ίση με μηδέν;
6. Πάρτε ζεύγη τιμών του φωτορεύματος σαν συνάρτηση της ορθής πόλωσης, ανά 1 volt. Σχεδιάστε την καμπύλη.
7. Πάρτε 5 – 10 ζεύγη τιμών του φωτορεύματος σαν συνάρτηση της ανάστροφης πόλωσης και σχεδιάστε την καμπύλη. Βρείτε την τάση αποκοπής V_S και την μέγιστη ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων (σε eV). Εκτιμήστε το σφάλμα στο V_S .
8. Επαναλάβετε το βήμα 7 για όλες τις διαθέσιμες συχνότητες καθώς επίσης και χωρίς προσπίπτον φως για να βρεθεί το ρεύμα σκότους.

ΠΡΟΣΟΧΗ

Πριν ανοίξετε το φωτοστεγές κιβώτιο βεβαιωθείτε ότι ο διακόπτης ελέγχου μέτρησης του ηλεκτρόμετρου είναι στην θέση LOCK.

9. Χαράξτε το διάγραμμα της τάσης αποκοπής σαν συνάρτηση της συχνότητας του προσπίπτοντος φωτός. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων βρείτε την καλύτερη ευθεία που διέρχεται από τα πειραματικά σας σημεία. Από την κλίση και την τετμημένη επί την αρχή της ευθείας βρείτε την σταθερά του Planck και το έργο εξόδου του καλίου, θεωρώντας την τιμή $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C} = 4,803 \times 10^{-10} \text{ esu}$ για το φορτίο του ηλεκτρονίου.
10. Εξηγήστε γιατί δεν χρησιμοποιούμε την κόκκινη γραμμή του Hg.
11. Σχόλια, συμπεράσματα.