

ΑΣΚΗΣΗ 3.

ΠΕΙΡΑΜΑ FRANCK – HERTZ.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΕΝΟΣ ΑΤΟΜΟΥ

Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη της σκέδασης ηλεκτρονίου – ατόμου και η ανάδειξη του τρόπου με τον οποίο μεταφέρεται ενέργεια στο άτομο.

I. ΘΕΩΡΙΑ

A. Διέγερση των ατόμων

Ο κυριότερος τρόπος της μεταβολής της ενεργειακής κατάστασης των ατόμων γίνεται με την εκπομπή ή την απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η διαφορά ενέργειας ΔE της αρχικής και της τελικής κατάστασης ενός ατόμου αντιστοιχεί στην ενέργεια ενός φωτονίου (η περίπτωση των δύο φωτονίων είναι εξαιρετικά σπάνια), η συχνότητα του οποίου καθορίζεται από την σχέση:

$$\Delta E = h\nu \quad (3.1)$$

όπου $h = 4,136 \times 10^{15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ είναι η σταθερά του Planck.

Οι μετρήσεις της ατομικής φασματοσκοπίας σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων, από τις ακτίνες X μέχρι και τα ραδιοφωνικά κύματα, έδειξαν ότι τόσο η εκπομπή όσο και η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γίνεται μόνο σε συγκεκριμένες διάκριτες συχνότητες. Επομένως, σύμφωνα με την σχέση (3.1), η μεταβολή της ενέργειας του ατόμου γίνεται κατά καθορισμένες ποσότητες. Για παράδειγμα, η πιο χαρακτηριστική γραμμή στο φάσμα του υδραργύρου, που βρίσκεται στο υπεριώδες με μήκος κύματος 253,5 nm, από την σχέση (3.1) προκύπτει ότι αντιστοιχεί σε διαφορά ενέργειας 4,89 eV. Η γραμμή αυτή οφείλεται στην μετάπτωση από την πρώτη διεγερμένη στάθμη του Hg στην βασική.

Ένας άλλος τρόπος μεταβολής της ενέργειας των ατόμων είναι οι κρούσεις μεταξύ τους. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αποτελεί ένα πολύ θερμό αέριο. Η

αυξημένη 'θερμική' κινητική ενέργεια των ατόμων του αερίου είναι ικανή, με τις μεταξύ τους συγκρούσεις, να προκαλέσει την διέγερσή τους ή ακόμη και τον ιονισμό τους. Έτσι, αέρια ή ατμοί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες εκπέμπουν ακτινοβολία με το χαρακτηριστικό τους φάσμα.

Επίσης, οι κρούσεις οποιωνδήποτε άλλων φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα μπορούν να προκαλέσουν την διέγερση των ατόμων σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Κοινή εφαρμογή αυτού του τρόπου διέγερσης έχουμε στους σωλήνες ηλεκτρικής εκκένωσης (π.χ. λαμπτήρες φθορισμού). Ο χώρος στο εσωτερικό του σωλήνα περιέχει ένα αέριο σε χαμηλή πίεση, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια και τα θετικά ιόντα να κινούνται επιταχυνόμενα από την υψηλή τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων του σωλήνα. Τα άτομα του αερίου γεμίσματος διεγείρονται από τις κρούσεις των φορτισμένων σωματιδίων (κυρίως των ηλεκτρονίων), εκπέμποντας στην συνέχεια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Γενικά, σε όλες τις περιπτώσεις και ανεξάρτητα από τον μηχανισμό διέγερσης, η μεταφορά ενέργειας στα άτομα γίνεται πάντα κατά διάκριτες ποσότητες.

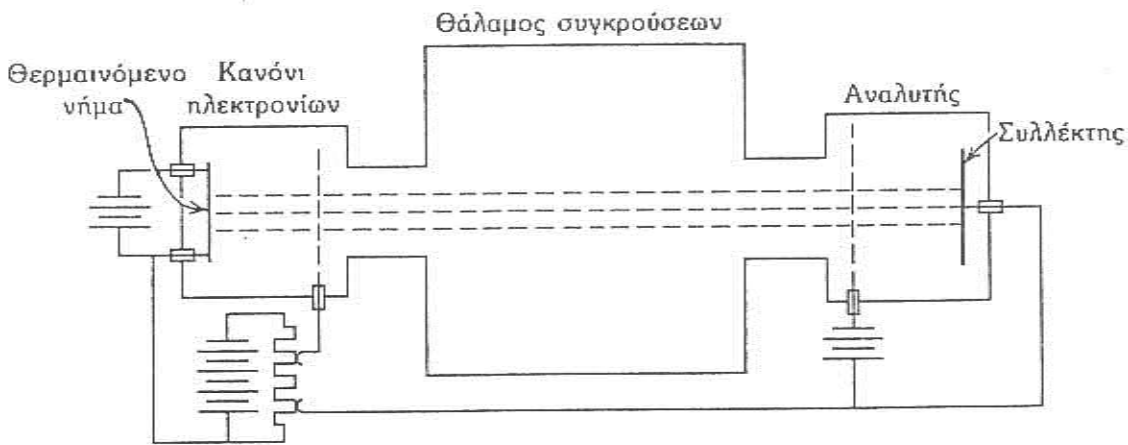
B. Διέγερση με σκεδάσεις ηλεκτρονίων καθορισμένης ενέργειας

Η μέθοδος που θα περιγραφεί στην συνέχεια εφαρμόστηκε από τους J. Franck και G. Hertz, οι οποίοι για την μελέτη τους αυτή τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel το 1925. Στο πείραμα Franck – Hertz επιτυγχάνεται η διέγερση των ατόμων ενός στοιχείου με τις κρούσεις που υφίστανται κατά τον βομβαρδισμό τους με ηλεκτρόνια δεδομένης ενέργειας. Πρόκειται δηλαδή για ένα πείραμα σκέδασης ηλεκτρονίων – ατόμων, με σκοπό να μελετήσουμε τις συνθήκες που απαιτούνται για την μεταφορά της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων στα άτομα. Η σκέδαση μπορεί να είναι ελαστική (η εσωτερική ενέργεια του ατόμου παραμένει αμετάβλητη) ή μη ελαστική (η εσωτερική ενέργεια του ατόμου αυξάνεται σε βάρος της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου)¹. Το αν θα συμβεί ελαστική ή μη ελαστική σκέδαση εξαρτάται από την ενέργεια των ηλεκτρονίων. Κατά την ελαστική σκέδαση ενός ηλεκτρονίου με ένα άτομο σε ηρεμία, το άτομο ανακρούεται ελαφρά επειδή έχει πολύ μεγαλύτερη μάζα από το ηλεκτρόνιο και παίρνει ένα αμελητέο μέρος της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου ($E_R \cong (m_0 / M) E_e$). Έτσι, αν ένα ηλεκτρόνιο βγαίνει από μία σύγκρουση με σημαντική απώλεια της ενέργειάς του, τότε η σύγκρουση πρέπει να είναι μη ελαστική και η επιπλέον ενέργεια πρέπει να έχει απορροφηθεί από το άτομο. Κατά την μη ελαστική σκέδαση, η απορροφώμενη από το άτομο ενέργεια μπορεί να μετρηθεί και να συγκριθεί με την ενέργεια διέγερσης (ή αποδιέγερσης) των ατόμων, όπως αυτή προκύπτει από τις μετρήσεις φασματοσκοπίας.

Η διάταξη του πειράματος των Franck – Hertz για την μελέτη της σκέδασης των ηλεκτρονίων παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

1. Ένα κανόνι ηλεκτρονίων για την δημιουργία μιάς λεπτής και μονοενεργειακής δέσμης ηλεκτρονίων. Το κανόνι των ηλεκτρονίων είναι υπό κενό, έ-

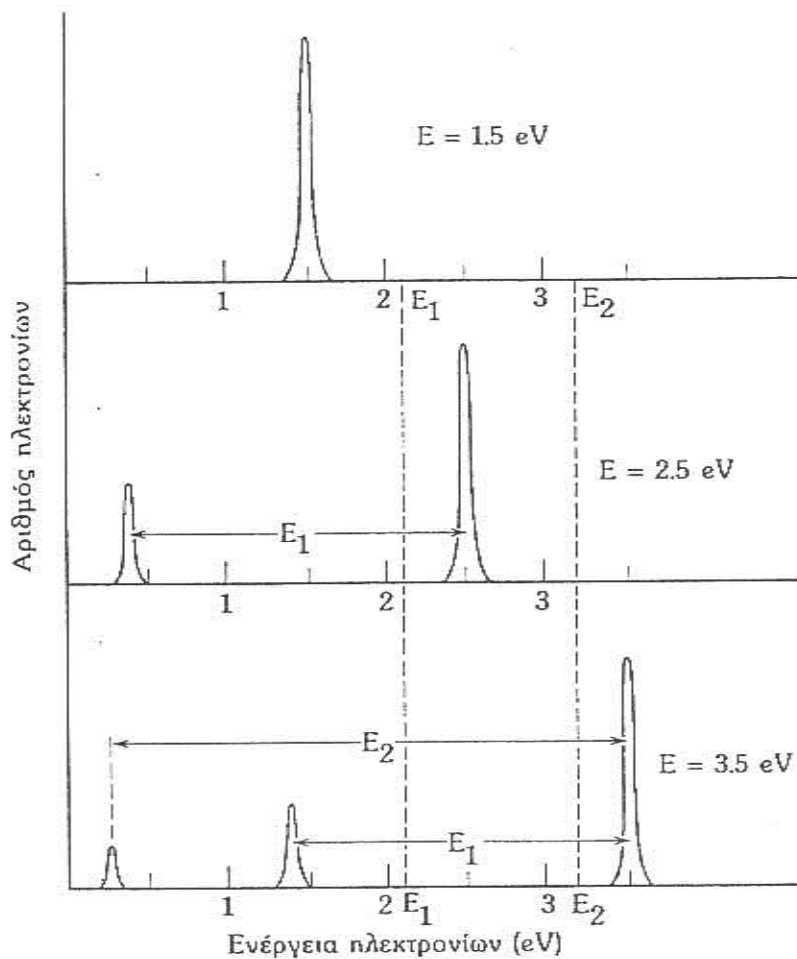
¹ Η σκέδαση, πιο σωστά, χαρακτηρίζεται σαν ελαστική ή μη ελαστική ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που δίνεται κατά την σκέδαση στο σκεδαζόμενο σώμα. Αν η ενέργεια αυτή είναι ακριβώς ίση με την ενέργεια που προβλέπεται από την κινηματική των δύο σωμάτων, τότε η σκέδαση χαρακτηρίζεται σαν ελαστική. Όταν η ενέργεια αυτή είναι διαφορετική από την ενέργεια που προβλέπεται από την κινηματική των δύο σωμάτων, τότε η σκέδαση χαρακτηρίζεται σαν μη ελαστική.



Σχήμα 3.1 Σχηματική παράσταση της συσκευής που χρησιμοποίησαν οι Franck - Hertz για την μελέτη της απώλειας της ενέργειας των ηλεκτρονίων σε ένα αέριο.

τσι ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με τα άτομα του αερίου.

- Έναν θάλαμο συγκρούσεων που περιέχει κάποιο ευγενές (μονοατομικό) αέριο ή ατμούς. Σε πίεση 0,01 mm Hg τα ηλεκτρόνια διανύουν περίπου 1



Σχήμα 3.2 Η ενεργειακή κατανομή των ηλεκτρονίων μετά από σκεδάσεις με άτομα Na. Οι προσπίπτουσες ενέργειες των ηλεκτρονίων είναι 1,5, 2,5 και 3,4 eV. Οι δύο πρώτες διεγερμένες στάθμες του Na έχουν ενέργειες $E_1 = 2,1$ eV και $E_2 = 3,2$ eV.

cm πριν συγκρουστούν με τα άτομα του αερίου. Έτσι, διατηρώντας την πίεση του αερίου χαμηλή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα ένα ηλεκτρόνιο να συγκρουστεί περισσότερες από μιά φορές καθώς διανύει τον θάλαμο συγκρούσεων.

3. Μιά διάταξη για την μέτρηση της ενέργειας των ηλεκτρονίων που κατάφεραν να περάσουν από τον θάλαμο των συγκρούσεων.

Το πείραμα έδειξε, πρώτα από όλα, ότι τα ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια λίγα eV υφίστανται μόνο ελαστικές κρούσεις με τα άτομα¹. Καθώς η ενέργεια των ηλεκτρονίων αυξάνεται, οι κρούσεις παραμένουν ελαστικές μέχρι κάποιο κατώφλι E_1 που είναι χαρακτηριστικό των ατόμων του αερίου στον θάλαμο συγκρούσεων, σχήμα 3.2. Για παράδειγμα, το κατώφλι αυτό ισούται με περίπου 4,9 eV για τον Hg, 1,6 eV για το Cs, 2,1 eV για το Na και 16,6 eV για το Ne.

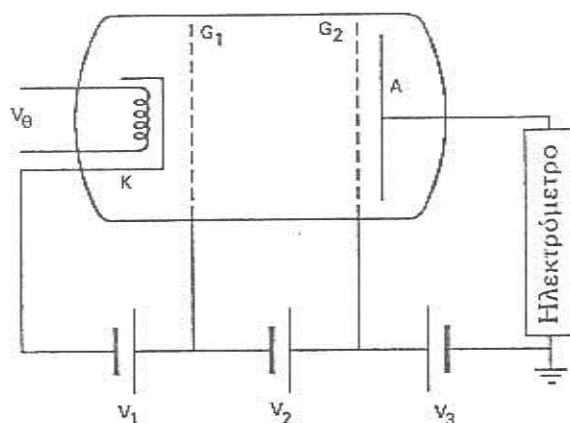
Όταν η ενέργεια των ηλεκτρονίων ξεπεράσει το κατώφλι E_1 , πολλά ηλεκτρόνια εξέρχονται από τον θάλαμο με μειωμένη κατά E_1 κινητική ενέργεια, ενώ τα υπόλοιπα δεν έχουν χάσει σημαντικό ποσό ενέργειας, σχήμα 3.2. Αυτό σημαίνει ότι κάποια ηλεκτρόνια υπέστησαν μη ελαστικές κρούσεις κατά τις οποίες ένα καθορισμένο ποσό ενέργειας E_1 μεταφέρθηκε από τα ηλεκτρόνια στα άτομα. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που υπέστησαν μη ελαστική σκέδαση είναι ανάλογος της πυκνότητας των ατόμων στον θάλαμο συγκρούσεων, με την προϋπόθεση ότι η πυκνότητα των ατόμων είναι χαμηλή.

Παρόμοια συμβαίνουν όταν η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη από E_2, E_3, \dots . Τα ηλεκτρόνια βγαίνουν από τον θάλαμο με κινητικές ενέργειες μειωμένες κατά E_2, E_3, \dots δείχνοντας ότι συνέβησαν μη ελαστικές κρούσεις με μεταφορά ενέργειας E_2, E_3, \dots

Η απουσία μη ελαστικών κρούσεων για ενέργειες μικρότερες από το κατώφλι E_1 δείχνει ότι τα άτομα μετά την κρούση βρίσκονται στην ίδια τιμή εσωτερικής ενέργειας. Όταν λαμβάνουν χώρα μη ελαστικές κρούσεις, σε υψηλότερες ενέργειες των ηλεκτρονίων, η απώλεια ενέργειας του ηλεκτρονίου προσλαμβάνεται από ένα άτομο το οποίο έτσι βρίσκεται σε μιά νέα κατάσταση εσωτερικής ενέργειας. Σε κάθε μιά από τις διάκριτες απώλειες ενέργειας των ηλεκτρονίων πρέπει να αντιστοιχεί μιά διαφορετική κατάσταση της εσωτερικής ενέργειας των ατόμων. Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου έχουν ένα χαρακτηριστικό διάκριτο σύνολο καταστάσεων εσωτερικής ενέργειας στις οποίες μπορούν να υπάρξουν μετά από κρούσεις. Οι καταστάσεις αυτές ονομάζονται *στατικές καταστάσεις* επειδή ένα άτομο μπορεί να μεταβεί από την μιά κατάσταση σε μιά άλλη μέσω ενός μηχανισμού ο οποίος προβλέπει την μεταφορά του απαιτούμενου ποσού της ενέργειας. Η στατική κατάσταση με την χαμηλότερη εσωτερική ενέργεια, η οποία είναι η συνήθης σταθερή κατάσταση ενός ελεύθερου ατόμου, ονομάζεται *βασική κατάσταση*, ενώ όλες οι άλλες *διεγερμένες καταστάσεις*.

Οι ενέργειες κατωφλίου E_1, E_2, E_3, \dots ονομάζονται *κρίσιμα δυναμικά*. Οι διαφορές μεταξύ των διαδοχικών κρίσιμων δυναμικών μειώνονται γρήγορα μέχρι ενός σημείου ώστε τα κρίσιμα δυναμικά να μην μπορούν να διακριθούν από την ανάλυση των ενεργειών των ηλεκτρονίων μετά τον θάλαμο συγκρούσεων. Όμως, η ανάλυση

¹ Αυτό ισχύει για κρούσεις με μεμονωμένα άτομα. Μη ελαστικές κρούσεις συμβαίνουν σε χαμηλότερες ενέργειες σε διατομικά ή πολυατομικά μόρια λόγω των επιπλέον σταθμών ταλάντωσης και περιστροφής των μορίων.



Σχήμα 3.3 Σχηματικό διάγραμμα της συσκευής για την μελέτη του πειράματος Franck – Hertz στο εργαστήριο. Α άνοδος, Κ κάθοδος, G_1 και G_2 πλέγματα.

των ενεργειακών σταθμών μπορεί να συνεχιστεί παρατηρώντας τα υποπροϊόντα της μη ελαστικής σκέδασης.

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από μιά τέτροδο λυχνία, η οποία περιέχει κάποιο μονοατομικό αέριο σε ικανοποιητική πίεση, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να υφίστανται πολλές σκεδάσεις κατά την διαδρομή τους από την κάθοδο στην άνοδο. Επίσης, περιλαμβάνει τροφοδοτικά για την θέρμανση της καθόδου, την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων και την ενεργειακή τους διεκρίνιση, βολτόμετρα για την μέτρηση των τάσεων και ένα ηλεκτρόμετρο για την μέτρηση του ανοδικού ρεύματος. Η συνδεσμολογία της διάταξης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3.

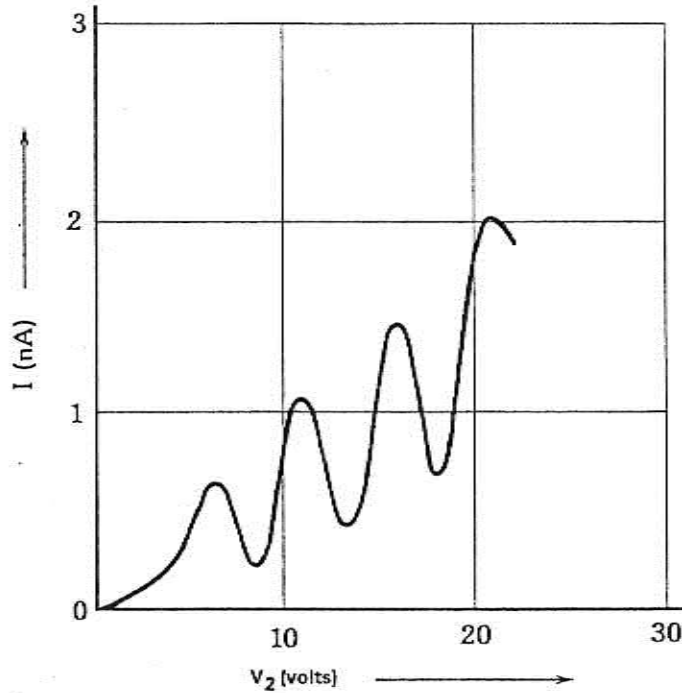
Η διαφορά δυναμικού μεταξύ της καθόδου και του πρώτου πλέγματος, V_1 , χρησιμεύει για την αραιώση του νέφους των ηλεκτρονίων γύρω από την κάθοδο για να μην παρατηρείται αυτοτελής εκκένωση. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται στον χώρο μεταξύ των δύο πλεγμάτων με την διαφορά δυναμικού V_2 , όπου και συγκρούονται με τα άτομα του αερίου. Με την διαφορά δυναμικού μεταξύ του δεύτερου πλέγματος και της ανόδου, V_3 , επιλέγουμε να μετρήσουμε μόνο τα ηλεκτρόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από eV_3 .

Όταν το αέριο της λυχνίας είναι οι ατμοί κάποιου στοιχείου, π.χ. υδράργυρος, για να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση των ατμών του στοιχείου, η λυχνία πρέπει να βρίσκεται σε κάποια υψηλή θερμοκρασία, στην περιοχή $150 - 200^\circ\text{C}$ για τον υδράργυρο. Για τον λόγο αυτόν, η λυχνία βρίσκεται σε έναν χώρο τον οποίο μπορούμε να θερμάνουμε. Είναι προφανές ότι, όταν το αέριο της λυχνίας είναι κάποιο ευγενές αέριο δεν απαιτείται θέρμανση της λυχνίας.

Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η μελέτη του ανοδικού ρεύματος σαν συνάρτηση του επιταχύνοντος δυναμικού. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ένα τμήμα αυτής της καμπύλης.

Η ερμηνεία της καμπύλης έχει ως εξής: Τα ηλεκτρόνια κερδίζουν ενέργεια μεταξύ των συγκρούσεων με τα άτομα του αερίου, μέρος της οποίας χάνουν κατά την σύγκρουσή τους μ' αυτά. Όταν η τάση επιτάχυνσης είναι χαμηλή, η ενέργεια που μπορούν να κερδίσουν τα ηλεκτρόνια είναι μικρή και οι συγκρούσεις με τα άτομα του

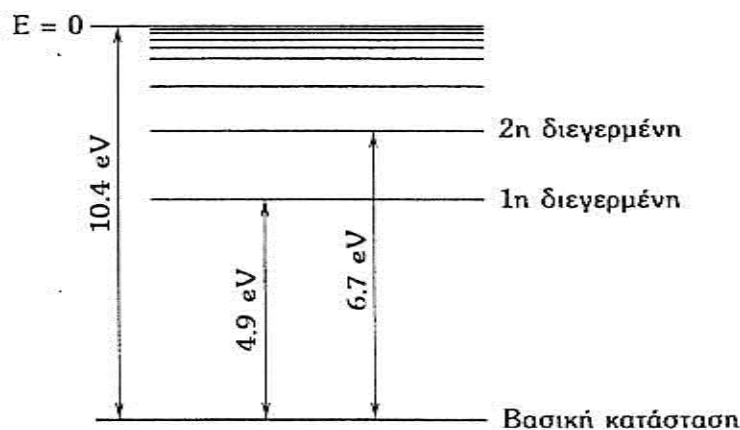
68 Πείραμα Franck – Hertz



Σχήμα 3.4 Τμήμα της καμπύλης ανοδικό ρεύμα – τάση επιτάχυνσης που λαμβάνεται με την διάταξη του σχήματος 3.3.

αερίου είναι ελαστικές. Τα ηλεκτρόνια κατά την σκέδαση δεν χάνουν (σημαντική) ενέργεια, απλώς αλλάζει η διεύθυνση της κίνησής τους. Όσα από αυτά καταφέρουν να φτάσουν στο δεύτερο πλέγμα με ενέργεια μεγαλύτερη από eV_3 συλλέγονται από την άνοδο και συνεισφέρουν στο ανοδικό ρεύμα. Με την αύξηση της τάσης επιτάχυνσης το ανοδικό ρεύμα αυξάνεται γιατί όλο και περισσότερα ηλεκτρόνια καταφέρνουν να φτάσουν στο πλέγμα με ενέργεια μεγαλύτερη από eV_3 .

Όταν η ενέργεια που κερδίζουν τα ηλεκτρόνια φτάσει την ενέργεια της πρώτης διεγερμένης στάθμης του αερίου, σχήμα 3.5 για το υδράργυρο, κάποια από τα ηλεκτρόνια υφίστανται μη ελαστικές κρούσεις με τα άτομα του αερίου, στα οποία προσφέρουν την απαραίτητη ενέργεια για να διεγερθούν. Το αποτέλεσμα της μη ελαστι-



Σχήμα 3.5 Σχηματικό διάγραμμα των εξωτερικών ενεργειακών σταθμών ενός ατόμου υδραργύρου.

κής σκέδασης είναι τα ηλεκτρόνια να χάσουν ενέργεια ίση με την ενέργεια διέγερσης των ατόμων του αερίου, με αποτέλεσμα, όταν φτάσουν στο δεύτερο πλέγμα να έχουν ενέργεια μικρότερη από eV_3 . Έτσι, ο αριθμός των ηλεκτρονίων που φτάνουν στην άνοδο μειώνεται, με αποτέλεσμα την μείωση του ανοδικού ρεύματος. Αν αυξήσουμε την τάση επιτάχυνσης, τα ηλεκτρόνια που υπέστησαν μη ελαστική σκέδαση κερδίζουν κάποια ενέργεια και καταφέρνουν να φτάσουν στην άνοδο, με αποτέλεσμα την εκ νέου αύξηση του ρεύματος. Καθώς αυξάνουμε και άλλο την τάση επιτάχυνσης, τα ηλεκτρόνια αποκτούν πάλι ικανή ενέργεια ώστε να σκεδαστούν μη ελαστικά με τα άτομα του αερίου κ.ο.κ..

Μερικά φαινόμενα που παρατηρούνται, χωρίς όμως να επηρεάζουν τα βασικά χαρακτηριστικά του πειράματος, είναι:

1. Οι μεταβάσεις από τα μέγιστα στα ελάχιστα της καμπύλης δεν είναι απότομες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια μέσα στην λυχνία δεν έχουν όλα την ίδια ενέργεια (γιατί;), με αποτέλεσμα κάποια από αυτά να σκεδάζονται μη ελαστικά σε μικρότερες τιμές της τάσης V_2 και άλλα σε μεγαλύτερες τιμές της V_2 .
2. Τα μέγιστα και τα ελάχιστα του ρεύματος φαίνεται να επικάθονται σε μία συνεχώς αύξουσα καμπύλη. Αυτό οφείλεται στην γενική αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων που συλλέγονται στην άνοδο καθώς αυξάνεται η διαφορά δυναμικού της επιτάχυνσης.

III. ΟΡΓΑΝΑ

1. Λυχνία Franck – Hertz με Hg.
2. Λυχνία Franck – Hertz με Ne.
3. Κλίβανος θέρμανσης.
4. Τροφοδοτικό του κλιβάνου θέρμανσης.
5. Τροφοδοτικό 0 – 5 volts.
6. Τροφοδοτικό 0 – 70 volts.
7. Τροφοδοτικό 0 – 11 volts.
8. Βολτόμετρο.
9. Ηλεκτρόμετρο.
10. Καλώδια σύνδεσης.

Η λυχνία του Hg (1) βρίσκεται μέσα στον κλίβανο θέρμανσης (3). Τα 4, 5, 6, 7, 8 και 9 βρίσκονται σε κοινό περίβλημα.

IV. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

A. Μετρήσεις με την λυχνία Hg

1. Αναγνωρίστε τις συσκευές.
2. Πραγματοποιείτε το κύκλωμα του σχήματος 3.3 χρησιμοποιώντας την λυχνία Hg.
3. Ανάψτε την συσκευή. Ρυθμίστε την επιθυμητή θερμοκρασία του φούρνου. Περιμένετε μέχρις ότου η θερμοκρασία του φούρνου φτάσει την επιθυμητή τιμή.
4. Ρυθμίστε την τάση V_3 σε μία τιμή κοντά στα 1,5 V.

70 Πείραμα Franck – Hertz

5. Με την βοήθεια του παλμογράφου ρυθμίστε την τάση V_1 ώστε να έχετε το μεγαλύτερο δυνατό ρεύμα χωρίς να παρατηρούνται φαινόμενα κόρου.
6. Πάρτε ζεύγη τιμών: τάση επιτάχυνσης – ανοδικό ρεύμα, μεταβάλλοντας την τάση επιτάχυνσης κατά μικρά βήματα.
7. Σχεδιάστε την καμπύλη ανοδικό ρεύμα – τάση επιτάχυνσης. Ερμηνεύστε την καμπύλη που προκύπτει.
8. Επαναλάβετε τα βήματα 4 – 7 για κάποια άλλη θερμοκρασία του φούρνου. Τι παρατηρείτε στις δύο καμπύλες; Ερμηνεία.
9. Βρείτε την απόσταση μεταξύ όλων των διαδοχικών ελαχίστων. Πόσο είναι το πειραματικό σφάλμα της κάθε τιμής; Θεωρώντας όλες τις τιμές διαφοράς (και από τις δύο καμπύλες), βρείτε τον μέσο όρο τους και το αντίστοιχο σφάλμα.
10. Ποιά τιμή προκύπτει για την ενέργεια διέγερσης των ατόμων του υδραργύρου από το πείραμά σας;
11. Υπολογίστε το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά την αποδιέγερση των ατόμων από την πειραματική τιμή της ενέργειας διέγερσης.
12. Σχόλια, συμπεράσματα.

B. Μετρήσεις με την λυχνία Ne

1. Αναγνωρίστε τις συσκευές.
2. Πραγματοποιείτε το κύκλωμα του σχήματος 3.3 χρησιμοποιώντας την λυχνία Ne.
3. Ανάψτε την συσκευή. Περιμένετε λίγα λεπτά μέχρι να θερμανθεί το νήμα της λυχνίας
4. Ρυθμίστε την τάση V_3 σε μιά τιμή κοντά στα 10 V.
5. Με την βοήθεια του παλμογράφου ρυθμίστε την τάση V_1 ώστε να έχετε το μεγαλύτερο δυνατό ρεύμα χωρίς να παρατηρούνται φαινόμενα κόρου.
6. Πάρτε ζεύγη τιμών: τάση επιτάχυνσης – ανοδικό ρεύμα, μεταβάλλοντας την τάση επιτάχυνσης κατά μικρά βήματα.
7. Σχεδιάστε την καμπύλη ανοδικό ρεύμα – τάση επιτάχυνσης. Ερμηνεύστε την καμπύλη που προκύπτει.
8. Βρείτε την απόσταση μεταξύ όλων των διαδοχικών μεγίστων. Λόγω της υψηλής τιμής του V_3 δεν παρατηρούνται τα ελάχιστα της καμπύλης. Ποιό είναι το πειραματικό σφάλμα της κάθε τιμής. Βρείτε τον μέσο όρο τους και το αντίστοιχο σφάλμα του.
9. Ποιά τιμή προκύπτει για την ενέργεια διέγερσης των ατόμων του νέον από το πείραμά σας;
10. Υπολογίστε το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά την αποδιέγερση των ατόμων από την πειραματική τιμή της ενέργειας διέγερσης.
11. Σχόλια, συμπεράσματα.