



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Προχωρημένα Εργαστήρια Φυσικής Ι

Ελευθέριος Ηλιόπουλος

Τμήμα Φυσικής

Πείραμα VIII Φασματοσκοπία ακτίνων-Χ και σκέδαση Bragg

Όταν στα τέλη του 19^{ου} αιώνα (1895) ο Γερμανικής καταγωγής Φυσικός Wilhelm Conrad Röntgen ανακάλυψε τις ακτίνες Χ, κανείς δεν φανταζόταν την μετέπειτα χρησιμότητα τους στην μελέτη των κρυσταλλικών στερεών, των μετάλλων και τις ιατρικές εφαρμογές τους. Το μικρό μήκος κύματος αυτής της ακτινοβολίας (τάξης ατομικών διαστάσεων) καθώς και η διεισδυτικότητα τους τις έκανε ένα χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη της δομής των στερεών και ιδιαίτερα των μετάλλων. Σήμερα οι ακτίνες-Χ μεταξύ άλλων χρησιμοποιούνται ευρέως στη φυσική για την μελέτη της δομής των κρυστάλλων και τον προσδιορισμό των πλεγματικών τους σταθερών.

Το πείραμα αυτό έχει σαν σκοπό την απόκτηση συμπληρωματικών γνώσεων στην φασματοσκοπία ακτίνων-Χ με την χρήση μονοχρωμάτορα κρυστάλλου NaCl και LiF. Η μελέτη αυτή αφορά:

- (1) την χρήση του φάσματος εκπομπής ακτίνων-Χ λυχνίας Cu, για την παραγωγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (μερικών Å)
- (2) την απορρόφηση των ακτίνων -Χ από υλικά με διαφορετικό ατομικό αριθμό Z (Al, Cu, Co, Zn, Ni)
- (3) τον υπολογισμό φυσικών σταθερών όπως του Planck και των ενδοπλεγματικών αποστάσεων των κρυστάλλων με σκέδαση Bragg, και
- (4) τον υπολογισμό του συντελεστή απορρόφησης (μ) διαφόρων υλικών

Θεωρητικό μέρος

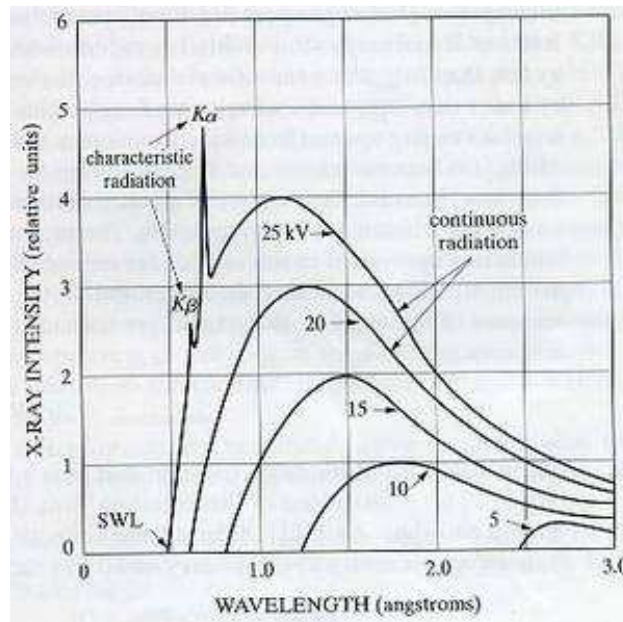
Εκπομπή ακτίνων-Χ

Οι ακτίνες Χ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πολύ μικρού μήκους κύματος (τάξης ατομικών διαστάσεων). Το φάσμα εκπομπής ακτίνων -Χ από λυχνία μετάλλου αποτελείται από ένα συνεχές υπόβαθρο και από χαρακτηριστικές γραμμές (Σχήμα 1). Το συνεχές φάσμα φωτονίων παράγεται από την επιβράδυνση των ηλεκτρονίων (e^-) (ακτινοβολίας πέδησης, Bremsstrahlung) από το μεταλλικό στόχο της ανόδου της λυχνίας (βλ. πειραματικό μέρος), και παρουσιάζει ένα μήκος κύματος αποκοπής (λ_{\min}). Το μήκος κύματος αποκοπής αντιστοιχεί στην μέγιστη κινητική ενέργεια των επιβραδυνόμενων ηλεκτρονίων που καθορίζεται από τη διαφορά δυναμικού (τάση) της λυχνίας ακτίνων-Χ.

Οι κρούσεις των επιταχυνθέντων e^- ης λυχνίας με τα e^- του μεταλλικού στόχου μεταφέρουν εσωτερικά e^- του μετάλλου (πολύ ισχυρά δεσμευμένων από το μέταλλο) σε εξωτερικές στοιβάδες. Η δημιουργία κενών θέσεων (οπών) στους εσωτερικούς φλοιούς ενέργειας E_1 των μετάλλων και η πλήρωση τους από e^- εξωτερικών φλοιών (e^- σε υψηλή ενεργειακή στάθμη E_2) που μεταπίπτουν στις κενές θέσεις (ενέργειες E_1) έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίου $E = h\nu = E_2 - E_1$.

Οι χαρακτηριστικές γραμμές εκπομπής συμβολίζονται με τα γράμματα K α , K β , L α ,... όπου το πρώτο γράμμα δείχνει τη στοιβάδα προς την οποία γίνεται η μετάβαση (στοιβάδα στην οποία βρίσκεται η οπή) ενώ ο δείκτης συμβολίζει τον αριθμό των φλοιών που το ηλεκτρόνιο άλλαξε κατά την μετάβαση του (πχ. από L→K έχω δείκτη α άρα γραμμή K α , από M→K έχω δείκτη β άρα γραμμή K β κ.τ.λ.). Σε ένα άτομο οι γραμμές εκπομπής έχουν στενή φασματική κατανομή λόγω του μικρού εύρους των ατομικών καταστάσεων. Στα στερεά η φασματική κατανομή έχει μεγάλο εύρος που αντιστοιχεί στο εύρος της ζώνης από την οποία γίνεται η

μετάβαση. Αν η μετάβαση γίνεται από την ανώτερη κατειλημμένη ενεργειακή ζώνη του στερεού το εύρος είναι της τάξης της ενέργεια Fermi E_F και η ένταση εκπομπής $I(E)$ ως συνάρτηση της ενέργειας του εκπεμπόμενου φωτονίου είναι $I(E) = (dn/dE) \times T(E)$ όπου dn/dE είναι πυκνότητα ενεργειακών καταστάσεων των ελευθέρων ηλεκτρονίων του στερεού και $T(E)$ η πιθανότητα μετάβαση από την ανώτερη στην κατώτερη ενεργειακή κατάσταση.



Σχήμα 1: Ένταση ακτίνων-Χ σαν συνάρτηση του μήκους κύματος για διάφορα επιταχυντικά δυναμικά των ηλεκτρονίων της καθόδου της λυχνίας.

Απορρόφηση ακτίνων-Χ

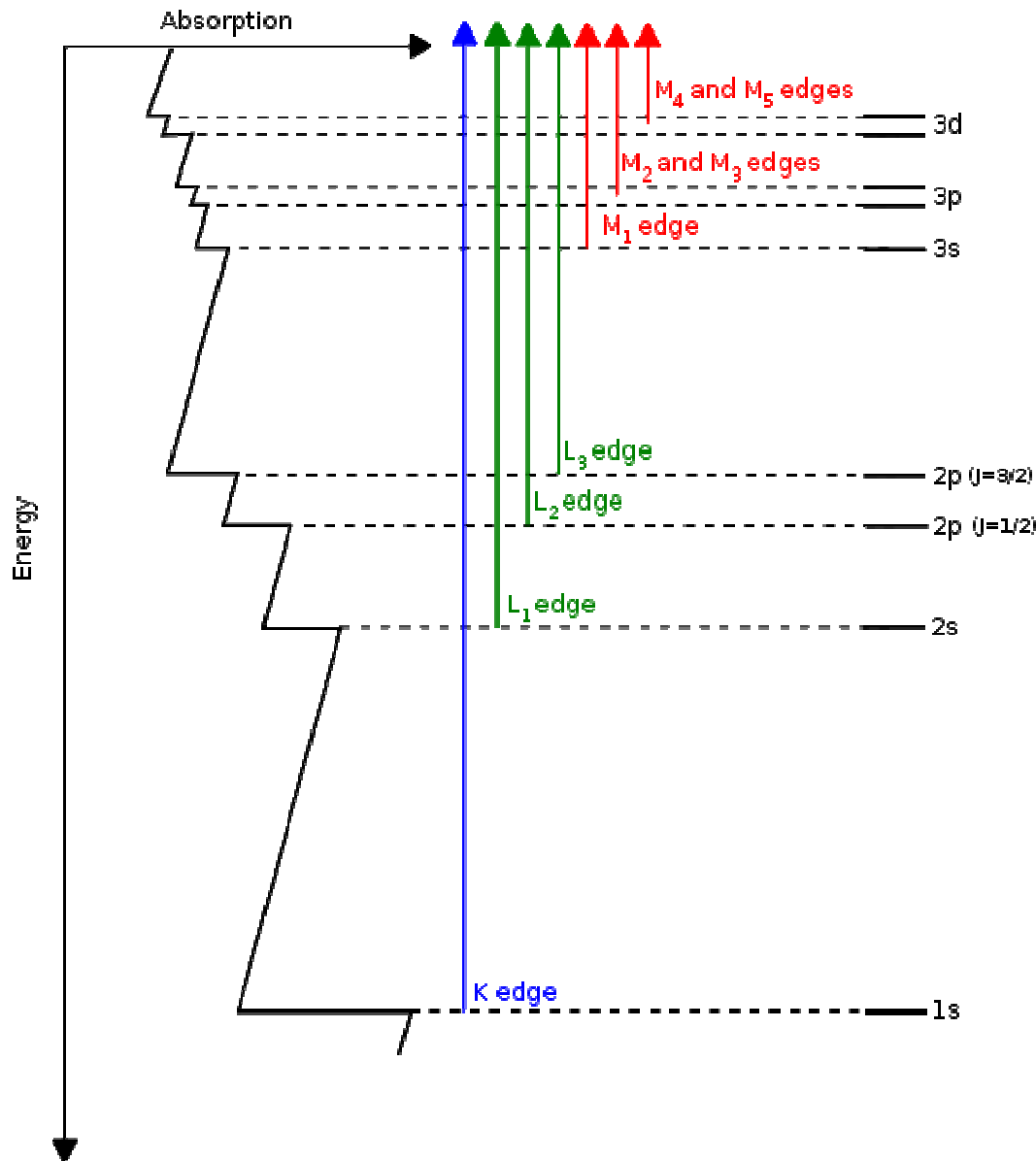
Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί με τους οποίους αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την ύλη οι οποίοι τελικά οδηγούν σε απώλεια των φωτονίων.

Τρεις είναι οι κύριοι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτονίων-ύλης στην περιοχή μικρών μηκών κύματος. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (ΦΦ), το φαινόμενο Compton (ΦC) και η δίδυμη γένεση (ΔΓ). Καθένας από τους παραπάνω μηχανισμούς είναι πιθανότερος σε σχέση με τους άλλους δύο σε ορισμένη περιοχή ενέργειες φωτονίων. Στις ενέργειες (μέχρι περίπου ~ 0.5 MeV) κυριαρχεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Το φαινόμενο Compton κυριαρχεί στις ενδιάμεσες ενέργειες (~ 0.1 MeV έως ~ 5 MeV) και ακολουθεί η δίδυμη γένεση με κατώφλι έναρξης $2m_0c^2 \sim 1.02$ MeV.

Στις ενέργειες αυτού του πειράματος ο ισχυρότερος μηχανισμός είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δηλαδή η απορρόφηση εξ' ολοκλήρου ενός φωτονίου από ηλεκτρόνια της K, L, M.....στοιβάδας με αποτέλεσμα το ηλεκτρόνιο από δέσμιο να γίνει ελεύθερο (απορρόφηση K, L, M.....). Για να είναι δυνατό το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο από μια στοιβάδα πρέπει η ενέργεια φωτονίου της ακτινοβολίας να είναι αρκετή για να απελευθερώσει το ηλεκτρόνιο από την συγκεκριμένη στοιβάδα. Η αντίστοιχη ποσότητα για ένα άτομο είναι το όριο ιονισμού δηλαδή ελάχιστη η ενέργεια φωτονίου που απαιτείται για να ιονίσει ένα άτομο από μια συγκεκριμένη στοιβάδα του ατόμου. Για ενέργειες φωτονίου μικρότερες μιας οριακής τιμής το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν είναι δυνατό για τη στοιβάδα με συνέπεια στο φάσμα και παρατηρείται μια απότομη μεταβολή στην απορρόφηση (ακμή απορρόφησης, absorption edge). Στο σχήμα 2 βλέπετε ιονισμό και ακμές απορρόφησης για ένα άτομο.

Εκτός από τους παραπάνω μηχανισμούς φωτονίου-ύλης υπάρχουν και άλλοι των οποίων η συνεισφορά στην ελάττωση της έντασης δέσμων φωτονίων-Χ είναι δευτερεύουσα. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι:

- (α) Σκέδαση Rayleigh: Είναι η ελαστική σκέδαση των φωτονίων από δέσμια ηλεκτρόνια των ατόμων ή μορίων του στερεού και
(β) Σκέδαση Thomson: Είναι η σκέδαση της ακτινοβολίας σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο



Σχήμα 2: Απορρόφηση ακτίνων Χ από άτομο μέσω μηχανισμού φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Νόμος απορρόφησης ακτίνων-Χ

Πολλές φορές στα πειράματα με φωτόνια δεν ενδιαφέρει τι είδους αντίδραση θα λάβει χώρα μεταξύ αυτής και της απορροφούσας ύλης αλλά η εξασθένηση της δέσμης των φωτονίων. Η εξασθένηση είναι συγκερασμός όλων των πιθανών αλληλεπιδράσεων. Στο πείραμα μας στην εξασθένηση της δέσμης παίζει ρόλο μόνο το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Έστω λεπτή ομοαξονική δέσμη φωτονίων που πέφτει στον απορροφητή. Εάν σε απειροστό πάχος dx του απορροφητή προσπίπτει ένταση I αυτή θα ελαττωθεί κατά

το ποσό dI , σαν αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μερικών φωτονίων με τα άτομα του υλικού. Η ένταση που διαπερνά το πάχος dx είναι $I-dI$. Το ποσοστό των φωτονίων της δέσμης που θα απορροφηθούν στο τμήμα πάχους dx ισούται με την ολική ενεργό διατομή απορρόφησης $\sigma_{ολ}$ πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό των ατόμων ανά cm^2 : $\rho N_0 dx/A$ όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού (σε gr/cm^3), N_0 ο αριθμός Avogadro και A το ατομικό βάρος. Επομένως η ελάττωση της έντασης της δέσμης είναι:

$$dI = -\sigma_{ολ} \cdot \frac{\rho \cdot N_0}{A} \cdot I \cdot dx \quad (Εξ.1)$$

Ορίζουμε το γραμμικό συντελεστή απορρόφησης:

$$\mu = \sigma_{ολ} \cdot \frac{\rho \cdot N_0}{A} \quad (Εξ.2)$$

Τότε:

$$dI = -\mu \cdot I \cdot dx \quad (Εξ.3)$$

και ολοκληρώνοντας παίρνουμε τον νόμο της απορρόφησης:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (Εξ.4)$$

όπου I_0 είναι η μετρούμενη ένταση της δέσμης φωτονίων απουσία απορροφητή και x το πάχος του απορροφητή.

Η συνολική ενεργός διατομή είναι το άθροισμα των επιμέρους ενεργών διατομών

$$\sigma_{ολ} = \sigma_{\Phi\Phi} + \sigma_{\Phi C} + \sigma_{\Delta\Gamma} + \sigma_{\Sigma R} + \sigma_{\Sigma T} \quad (Εξ.6)$$

όπου:

$\sigma_{\Phi\Phi}$: ενεργός διατομή φωτοηλεκτρικού φαινομένου

$\sigma_{\Phi C}$: ενεργός διατομή σκέδασης Compton

$\sigma_{\Delta\Gamma}$: ενεργός διατομή δίδυμης γένεσης

$\sigma_{\Sigma R}$: ενεργός διατομή σκέδασης Rayleigh

$\sigma_{\Sigma T}$: ενεργός σκέδασης Thompson

Στο πείραμα μας μόνο η $\sigma_{\Phi\Phi}$ είναι σημαντική.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται εξάρτηση του γραμμικού συντελεστή απορρόφησης μ από τον ατομικό Z του απορροφητή και από την ενέργεια των φωτονίων της δέσμης μακριά από μια ακμή απορρόφησης.

Αλληλεπίδρασης ύλης - φωτονίων	Εξάρτηση από το Z του απορροφητή	Εξάρτηση από την ενέργεια E των φωτονίων
Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	Z^4 έως Z^5	$E^{-3.5}$ έως E^{-1}
Φαινόμενο Compton	Z	E^{-1}
Δίδυμη γένεση	Z^2	$\ln E$

Πίνακας I: Εξάρτηση του μ από ατομικό αριθμό Z και ενέργειας φωτονίων E για τους διαφορετικούς μηχανισμούς σκέδασης.

Για τις ενέργειες των φωτονίων ακτίνων-Χ του πειράματος όπου το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο κυριαρχεί η σχέση που προσεγγίζει το συντελεστή απορρόφησης μ είναι:

$$\mu \propto \lambda^3 \cdot Z^4 \quad (Εξ.7)$$

όπου λ το μήκος κύματος των ακτίνων X και Z ο ατομικός αριθμός του απορροφητή.

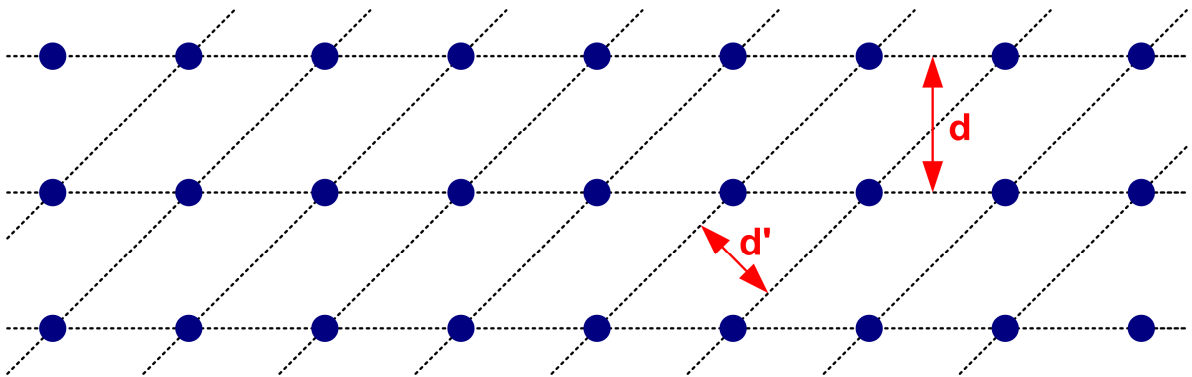
Οι βασικές σχέσεις, Εξ.4 και Εξ.7 ισχύουν αυστηρά με τις προϋποθέσεις ότι:

- Οι ακτίνες X είναι πρακτικά μονοενεργειακές
- Η δέσμη των ακτίνων X είναι ομοαξονική
- Το πάχος του απορροφητή δεν είναι πολύ μεγάλο έτσι ώστε να έχουμε μετρήσιμο σήμα μετά την απορρόφηση

Σκέδαση Bragg

Σε κρυσταλλικά υλικά ο συνδυασμός μήκους κύματος και διεύθυνσης πρόσπτωσης των ακτίνων X επιφέρει έντονες κορυφές στην παρατηρούμενη σκεδαζόμενη ακτινοβολία.

Κάθε κρυσταλλικό υλικό αποτελείται από παράλληλα πλεγμικά επίπεδα που ισαπέχουν κατά απόσταση d (ενδοπλεγμική απόσταση). Για διαφορετικές κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις προκύπτουν διαφορετικές ενδοπλεγμικές αποστάσεις (d') (βλ. Σχ.3).



Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση συνόλων πλεγμικών επιπέδων και των αντίστοιχων ενδοπλεγμικών αποστάσεων σε κρυσταλλικό σώμα.

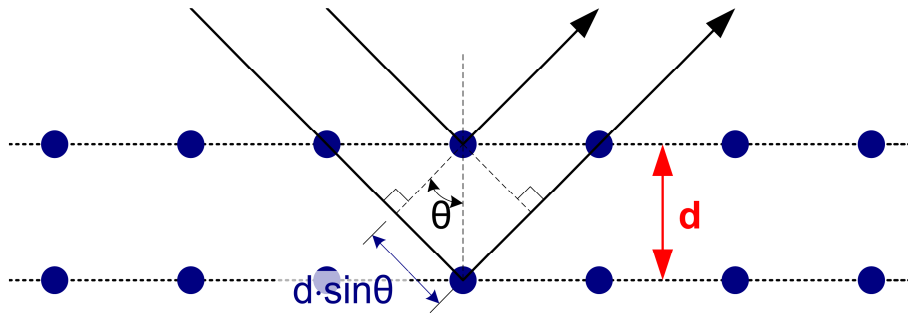
Οι περιθλώμενες στα πλεγμικά σημεία ακτίνες μήκους κύματος λ συμβάλουν ενισχυτικά για ορισμένη γωνία σκέδασης η οποία είναι ίση με την γωνία πρόσπτωσης γι' αυτό το φαινόμενο ονομάζεται καταχρηστικώς και «ανάκλαση **Bragg**».

Η συνθήκη για ενισχυτική συμβολή βγαίνει από την προϋπόθεση: η διαφορά οπτικού δρόμου δύο η περισσότερων ακτίνων-X μέσα στο υλικό πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος τους (βλέπε Σχ.4). Έτσι για ένα σύνολο κρυσταλλικών επιπέδων με ενδοπλεγμική απόσταση d και για παράλληλη δέσμη μονοχρωματικής ακτινοβολίας, μήκους κύματος λ , παρατηρείται κορυφή περίθλασης Bragg μόνο όταν η προσπίπτουσα διεύθυνση της δέσμης σχηματίζει με τα κρυσταλλικά επίπεδα γωνία θ τέτοια ώστε:

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad (\text{Εξ.8 - Νόμος Bragg})$$

όπου n ακέραιος αριθμός και αναφέρεται σαν "τάξη της περίθλασης".

Στο Σχ.4 φαίνονται οι προσπίπτουσες και ανακλώμενες ακτίνες από δύο διαδοχικά πλεγμικά επίπεδα που απέχουν απόσταση d . Η διαφορά δρόμου μεταξύ των ακτίνων είναι $2 \cdot d \cdot \sin (\theta)$



Σχήμα 4: Γεωμετρική εξήγηση του Νόμου Bragg.

Όταν μια «πολυχρωματική» ακτινοβολία-Χ προσπέσει υπό γωνία θ σ' ένα κρύσταλλο μόνο το τμήμα της ακτινοβολίας με μήκος κύματος τέτοιο ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη Bragg θα συμβάλει ενισχυτικά μετά την περίθαλψη και κατά συνέπεια θα ανακλαστεί (στην ίδια πάντα γωνία ανάκλασης ίση μ' αυτή της πρόσπτωσης). Μετρώντας τον αριθμό φωτονίων της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από ένα κρύσταλλο σε διάφορες γωνίες I (θ), μπορούμε να καταγράψουμε το φάσμα των ακτίνων-Χ που εκπέμπονται από μια πηγή. Γνωρίζοντας την γωνία σκέδασης και την σταθερά του κρυστάλλου μπορούμε να αντιστοιχίσουμε μήκος κύματος ή ενέργεια φωτονίου σε κάθε γωνία της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας την σχέση Bragg. Αυτό επιτρέπει την κατ αρχή καταγραφή του φάσματος εκπομπής της πηγής των ακτίνων-Χ, $I=I(E)$ όπου E η ενέργεια φωτονίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ακριβές φάσμα εκπομπής $I(E)$ προκύπτει από το μετρημένο φάσμα μετά από διόρθωση του με την ανακλαστικότητα του κρυστάλλου και την απόκριση του ανιχνευτή ως συνάρτηση της ενέργειας του φωτονίου εφ' όσον αυτά είναι γνωστά. Στο πείραμα μας δεν θα γίνει τέτοια διόρθωση. Επειδή η ανακλαστικότητα του κρυστάλλου και η απόκριση του ανιχνευτή δεν μεταβάλλεται απότομα με την ενέργεια του φωτονίου, και ακόμα όταν δεν κάνουμε τις παραπάνω διορθώσεις το μετρούμενο φάσμα ανταποκρίνεται ποιοτικά στο πραγματικό φάσμα εκπομπής σε ικανοποιητικό βαθμό.

Πειραματικό μέρος

Συσκευή-Όργανα

Ο φασματογράφος των ακτίνων-Χ (σχήμα 5) αποτελείται από τα βασικά μέρη με αντίστοιχες λειτουργίες την πηγή των ακτίνων-Χ που είναι συνήθως μια λυχνία Cu

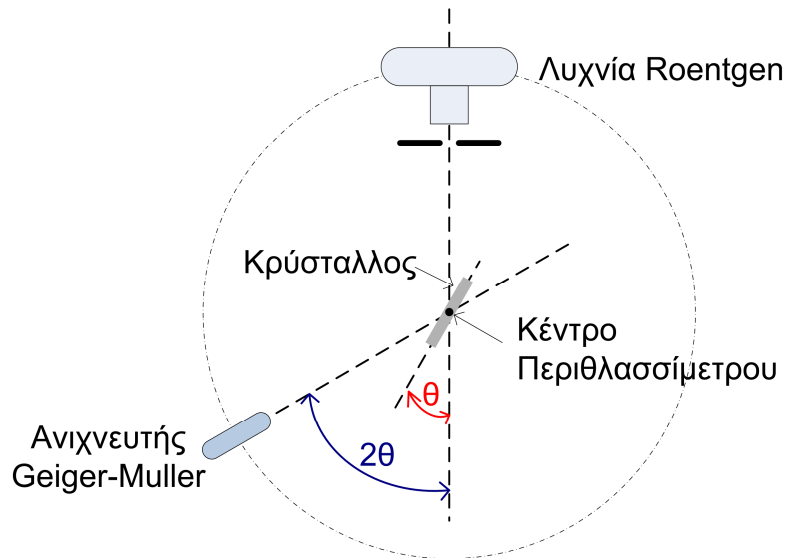
- τον περιστρεφόμενο περί το μέσο του κρύσταλλο (παίζει τον ρόλο φράγματος) που τοποθετείται στο κέντρο του μονοχρωμάτορα ώστε να έχουμε την φασματική διαχώριση των ακτίνων-Χ.
- το σύστημα ανίχνευσης των σκεδαζόμενων ακτίνων-Χ είναι ένας ανιχνευτής Geiger-Muller περιστρεφόμενος περί το κέντρο του φασματογράφου.

Περιστροφή του κρυστάλλου κατά γωνία $\Delta\theta$ αντιστοιχεί σε περιστροφή του ανιχνευτή κατά γωνία $2\Delta\theta$ (ανάκλαση). Το ηλεκτρικό σύστημα συμπληρώνεται με ένα αναλογικό ενισχυτή και έναν παλμομετρητή.

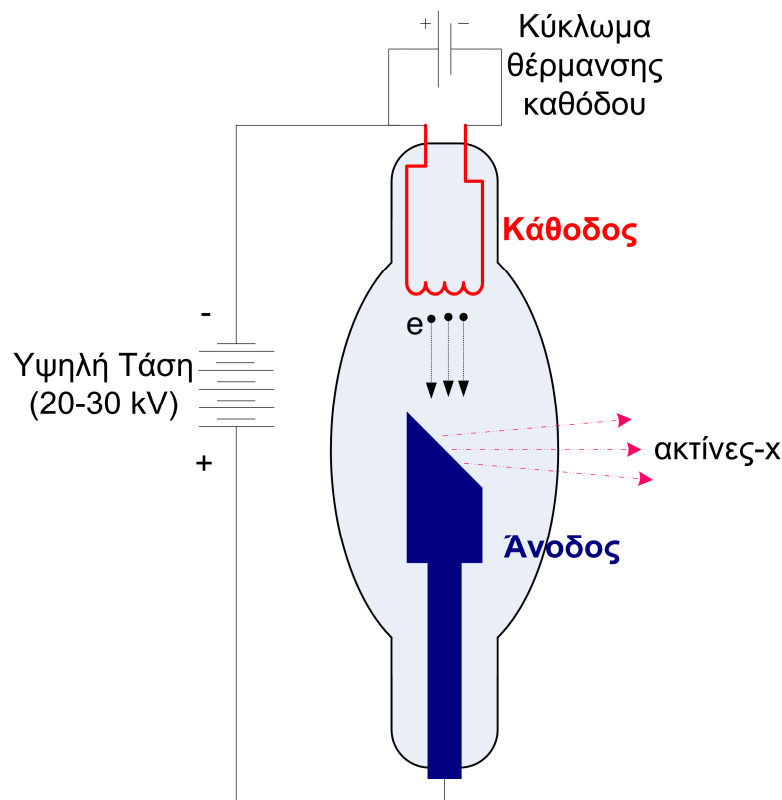
Τα χαρακτηριστικά της λυχνίας είναι (βλέπε σχ. 6):

- Άνοδος χαρακτηριστικού μετάλλου (Cu, Mb)
- Τάση ανόδου-καθόδου 20 k Volts και 30 k Volts
- Θερμαινόμενη κάθοδος βολφραμίου (W)
(κύκλωμα θέρμανσης 4 Volts-1 Ampere)

Η πηγή των ηλεκτρονίων είναι ένα νήμα πυρακτώσεως (κάθοδος) Βολφράμιου (W). Λόγω θερμοηλεκτρικού φαινομένου ηλεκτρόνια αποσπώνται από την κάθοδο και επιταχυνόμενα προσκρούουν πάνω στη μεταλλική επιφάνεια του Cu (άνοδος) παράγοντας ακτινοβολία X με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγούμενα. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται εφαρμόζοντας μια διαφορά δυναμικού 20 k V ή 30 k Volts μεταξύ νήματος (κάθοδος) και μεταλλικής επιφάνειας (άνοδος).



Σχήμα 5: Γεωμετρία του περιθλασίμετρου-φασματογράφου ακτίνων-X



Σχήμα 6: Λυχνία Röntgen παραγωγής ακτίνων-X

Πειραματική Διαδικασία και Ανάλυση μετρήσεων

(I) Φάσμα εκπομπής ακτίνων-Χ και σκέδαση Bragg

(α) Με την χρήση του φασματογράφου κρυστάλλου, καταγράψτε το φάσμα εκπομπής της λυχνίας Cu χρησιμοποιώντας και τους δύο κρυστάλλους που διατίθενται (NaCl, LiF) και για τις δύο τάσεις επιτάχυνσης των ηλεκτρονίων, 20 kV και 30 kV. Αναγνωρίστε τις γραμμές K_{α} , K_{β} του Cu.

(β) Γνωρίζοντας ότι η ενδοπλεγματική απόσταση στο κρύσταλλο NaCl είναι $d=2.82 \text{ \AA}$, να υπολογίσετε το μήκος κύματος και την ενέργεια μετάβασης του μεγίστου των χαρακτηριστικών γραμμών K_{α} , K_{β} του Cu.

(γ) Από το φάσμα της λυχνίας Cu με το κρύσταλλο LiF προσδιορίστε την σταθερά d του κρυστάλλου.

(II) Απορρόφηση ακτίνων-Χ

(δ) Μετρήσετε το φάσμα απορρόφησης των ακτίνων-Χ της λυχνίας Cu των υλικών Al ($Z=13$), Ni ($Z=28$), Cu ($Z=29$) και Zn ($Z=30$). Κάντε παρατηρήσεις για την μορφή του φάσματος απορρόφησης.

(ε) Επαληθεύστε το νόμο απορρόφησης για το Al ($Z=13$) σ' ένα ορισμένο μήκος κύματος και προσδιορίστε τον συντελεστή απορρόφησης του Al στο συγκεκριμένο μήκος κύματος

(στ) Για τους διαφορετικούς απορροφητές (διαφορετικό Z) επαληθεύστε την εξάρτηση του συντελεστή απορρόφησης μ από το Z . Η επαλήθευση γίνεται πάντα σε ορισμένο μήκος κύματος για όλους τους απορροφητές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alonso-Finn "Fundamental University Physics" Τόμος II και III (Addison – Wesley Publishing Company), 1968
- [2] G. Herzberg «Atomic Spectra and Atomic Structure» Dover 1955
- [3] V.L. Azaroll, M.D. Pease "X-ray Spectroscopy" McGraw-Hill (1974).

Σημειώματα

Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ελ. Ηλιόπουλος, 2014. «Προχωρημένα Εργαστήρια Φυσικής Ι.». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

