

Άσκηση ΑΤ3

Ο νόμος του Moseley με τη μέθοδο των χαρακτηριστικών ακτίνων X από ραδιενεργούς πυρήνες.

1. Σκοπός

Η πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Moseley, μέσω της καταγραφής της ενέργειας χαρακτηριστικών ακτίνων X που εκπέμπονται από ραδιενεργούς πυρήνες.

2. Γενικά

2.1 Εισαγωγή.

Οι ακτίνες X, ή ακτίνες Röntgen, είναι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες (φωτόνια) με μήκη κύματος λ στο εύρος 0.05 – 100 Å και ενέργειες 0.13 – 250 keV, σύμφωνα με την ισχύουσα σχέση μετατροπής $E=12.399/\lambda$ (E σε keV και λ σε Å). Η ανακάλυψη των ακτίνων X έγινε από τον Wilhelm Conrad Röntgen το 1895 στο πανεπιστήμιο του Würzburg της Βαυαρίας. Για την ανακάλυψή του αυτή τιμήθηκε με το βραβείο Nobel το 1901.

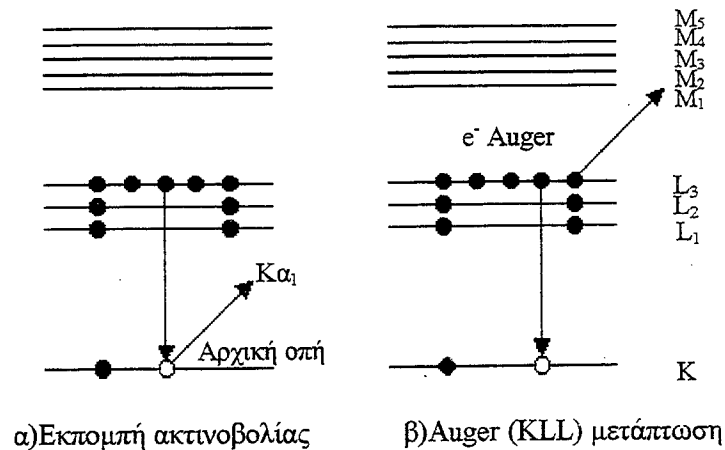
Οι χαρακτηριστικές ακτίνες X και οι ακτίνες γ παρά το ότι αποτελούν την ίδια μορφή ακτινοβολίας (φωτόνια), διαφέρουν ως προς τα μήκη κύματος και κατά συνέπεια και ως προς την ενέργεια, η βασική τους όμως διαφορά εντοπίζεται στον τρόπο παραγωγής τους. Οι χαρακτηριστικές ακτίνες X προέρχονται από ατομικές αποδιεγέρσεις ενώ οι ακτίνες γ από διαδικασίες που σχετίζονται άμεσα με τον πυρήνα.

2.2 Εκπομπή χαρακτηριστικών ακτίνων X από τα άτομα.

Για την ερμηνεία της εκπομπής της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας από τα άτομα θεωρείται επαρκής η χρήση του απλοποιημένου μοντέλου των σφαιρικών φλοιών. Στο μοντέλο αυτό, τα αρνητικά φορτισμένα ατομικά ηλεκτρόνια θεωρούνται δέσμια στο θετικά φορτισμένο πυρήνα μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων. Θεμελιώδεις κανόνες επιτρέπουν στα ηλεκτρόνια την κατάληψη καλά καθορισμένων (διάκριτων) φλοιών-τροχιών, ομόκεντρων με τον πυρήνα. Κάθε ηλεκτρονιακός φλοιός, ή υποφλοιός, χαρακτηρίζεται από μια συγκεκριμένη τιμή ενέργειας, την ενέργεια σύνδεσης ηλεκτρονίου ή κρίσιμη ενέργεια ιονισμού. Αυτή είναι η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από το ηλεκτροστατικό πυρηνικό δυναμικό.

Η εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας από το άτομο προαπαιτεί την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από δεδομένο φλοιό. Με την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου, το άτομο μεταβαίνει στιγμιαία σε διεγερμένη κατάσταση, με ενέργεια που υπερβαίνει αυτήν της αρχικής κατάστασης. Επειδή η αρχή ελαχίστης ενέργειας επιβάλλει στο άτομο να επιστρέψει ενεργειακά στη βασική του κατάσταση, παρατηρείται ακολούθως μετάπτωση ηλεκτρονίου από κάποιον ενεργειακά υψηλότερο φλοιό, έτσι ώστε να συμπληρωθεί η αρχική οπή που δημιουργήθηκε στον ενεργειακά χαμηλότερο. Τέτοιες ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις, που καθορίζονται από βασικούς κανόνες επιλογής, οδηγούν στην εκπομπή χαρακτηριστικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας X (φωτονίου) με ενέργεια ίση με τη διαφορά ενεργειών των δύο φλοιών οι οποίοι εμπλέκονται στην ηλεκτρονιακή μετάπτωση (Σχ. 1.1α). Η εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας δεν

αποτελεί το μοναδικό μηχανισμό αποδιέγερσης των ατόμων. Σ' αυτήν θα πρέπει να προστεθούν ανταγωνιστικά φαινόμενα, όπως αυτό της αποδιέγερσης μέσω εκπομπής ηλεκτρονίων Auger που εικονίζεται στο σχήμα 1.1β. Στην περίπτωση αυτή, το πλεόνασμα ενέργειας, που προκαλείται από την ηλεκτρονιακή μετάπτωση, απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο υψηλότερου ενεργειακά υποφλοιού, το οποίο και διαφεύγει, με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας.



Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση δύο από τους πιο πιθανούς μηχανισμούς αποδιέγερσης ενός ατόμου μετά τη δημιουργία οπής σε εσωτερικό ατομικό φλοιό: α) Αποδιέγερση με εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας β) Αποδιέγερση με εκπομπή ηλεκτρονίου Auger.

Το μέγεθος εκείνο το οποίο εκφράζει την πιθανότητα μετάπτωσης με ταυτόχρονη εκπομπή χαρακτηριστικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ονομάζεται απόδοση φθορισμού. Το είδος της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας που θα εκπεμφθεί, εξαρτάται άμεσα από τον υποφλοιό από τον οποίον παρατηρείται η ηλεκτρονιακή μετάπτωση. Για παράδειγμα, η δημιουργία οπής στον K φλοιό ενός ατόμου, η οποία συνοδεύεται από μετάπτωση ενός ηλεκτρονίου από τον L₃ υποφλοιό, οδηγεί στην εκπομπή της K_{α₁} χαρακτηριστικής ακτίνας X του ατόμου. Στο σχήμα 1.2 απεικονίζονται σχηματικά οι πιθανότερες από τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις, που μπορούν να εμφανιστούν κατά τη δημιουργία μιας κενής θέσης (οπής) σε εσωτερικό ατομικό φλοιό. Στο ίδιο σχήμα, και με το συμβατικό συμβολισμό που υιοθετείται στη φασματοσκοπία των ακτίνων X, εικονίζεται το είδος της αντίστοιχης χαρακτηριστικής ακτίνας X που συνοδεύει τη μετάπτωση.

Οι ενέργειες των χαρακτηριστικών ακτίνων, που συνοδεύουν την αποδιέγερση των ατόμων, εξαρτώνται άμεσα από τον ατομικό αριθμό του στοιχείου που τις εκπέμπει. Το 1914 ο Moseley ερευνώντας το γραμμικό φάσμα εκπομπής των ακτίνων X διαπίστωσε την ύπαρξη των δύο σειρών εκπομπής K και L, όπως επίσης και την παρουσία της συστηματικής εξάρτησης της ενέργειας κάθε χαρακτηριστικής ακτίνας από τον ατομικό αριθμό του στοιχείου. Ειδικότερα, παρατήρησε προοδευτική μετατόπιση των ενεργειών E των χαρακτηριστικών ακτίνων σε μεγαλύτερες ενέργειες, με την αύξηση του ατομικού αριθμού Z του στοιχείου, η οποία συνοψίζεται στην ακόλουθη γραμμική σχέση και έχει καθιερωθεί ως ο **νόμος του Moseley**:

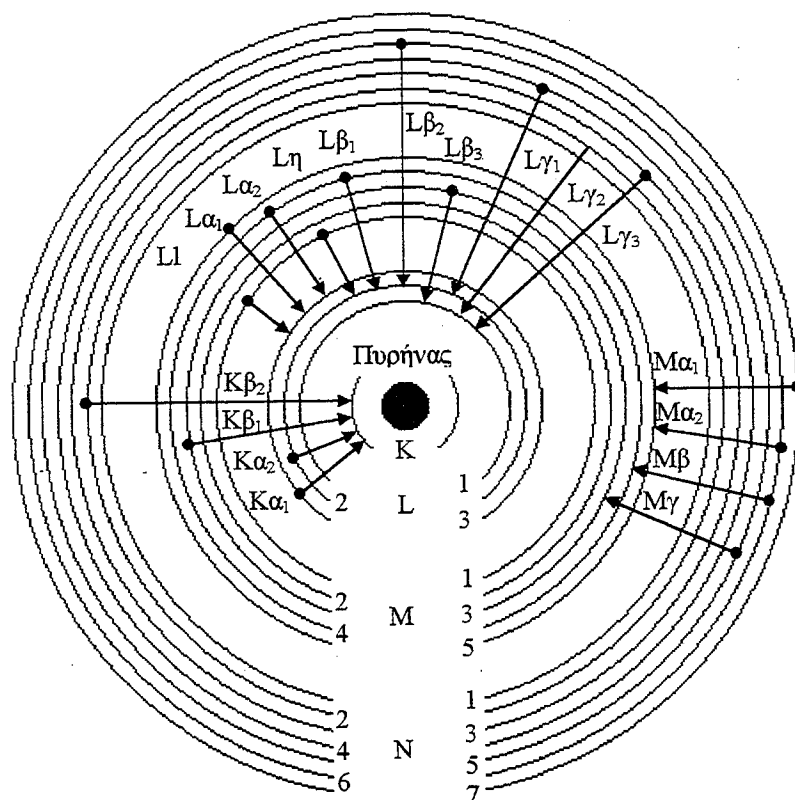
$$\sqrt{E} = C(Z - \sigma) \quad (1)$$

Στη σχέση αυτή, η σταθερά C είναι κοινή για την ίδια χαρακτηριστική ακτίνα όλων των στοιχείων, ενώ σ είναι η σταθερά θωράκισης, η οποία έχει διαφορετική τιμή για κάθε

στοιχείο και χαρακτηριστική ακτίνα X. Ειδικότερα, για τις K_{α} χαρακτηριστικές ακτίνες των στοιχείων, βρέθηκε ότι:

$$E = C(Z - 1)^2, C = 0.0102 \text{ keV} \quad (2)$$

Ο νόμος του Moseley είχε καθοριστική συμβολή στην ανάπτυξη της ατομικής θεωρίας, καθώς ανέδειξε τη φυσική σημασία του ατομικού αριθμού Z ως μέτρου του φορτίου του πυρήνα και συνέβαλε στην ανακάλυψη αγνώστων έως τότε στοιχείων, όπως για παράδειγμα το Τεχνήτιο ($Tc, Z=43$), και στην οριστική κατάταξη των στοιχείων στον περιοδικό πίνακα.



Σχήμα 1.2: Σχηματική αναπαράσταση των πιθανότερων ηλεκτρονιακών μεταπτώσεων, που παρατηρούνται κατά τη δημιουργία κενής θέσης (οπής) σε εσωτερικό ατομικό φλοιό. Σημειώνεται επίσης το είδος της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας που συνοδεύει τη μετάπτωση.

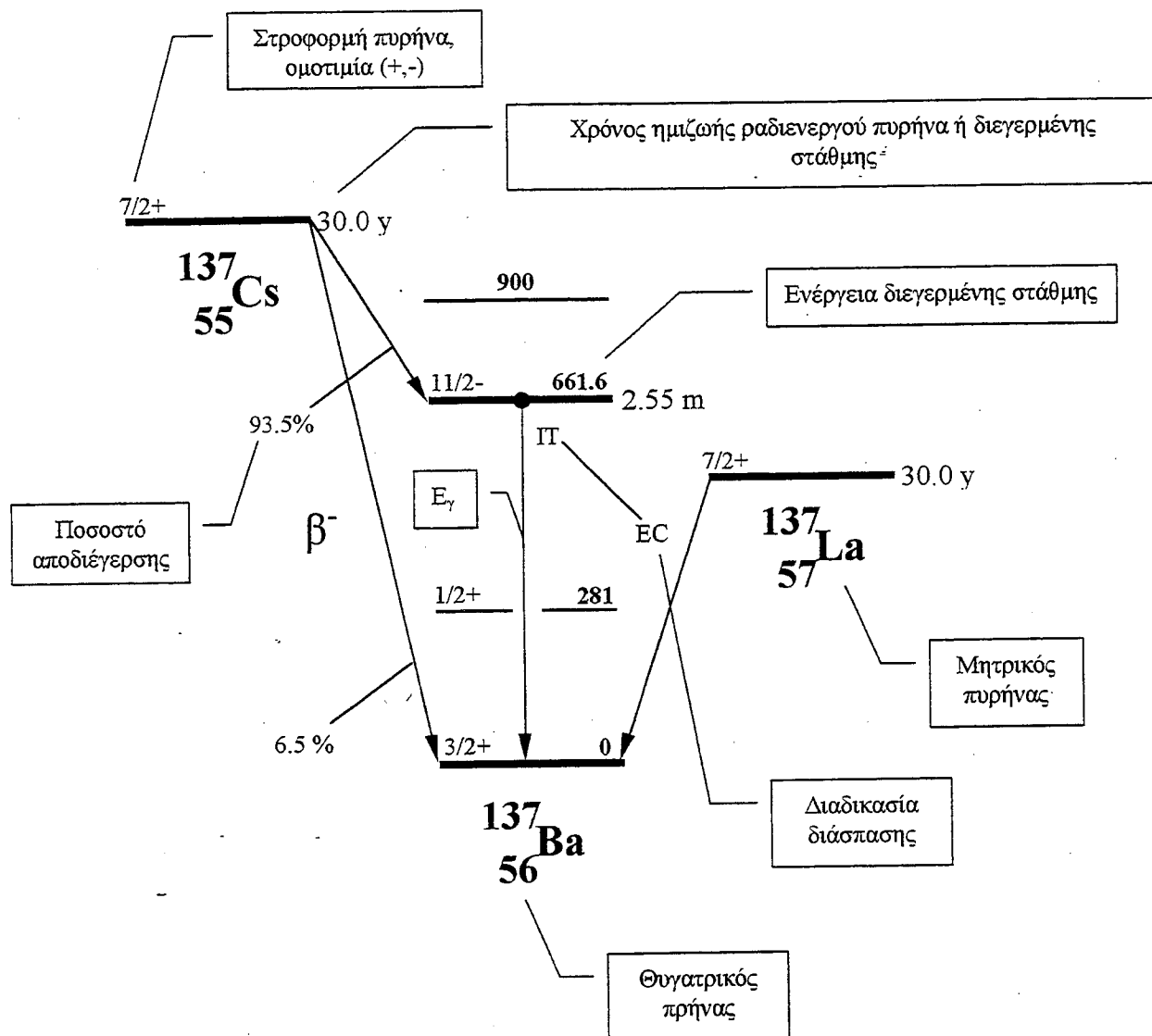
Όπως αναφέρθηκε έως τώρα, η εκπομπή οποιασδήποτε χαρακτηριστικής ακτίνας X ενός ατόμου προϋποθέτει τη δημιουργία κενής θέσης (οπής) σε κάποιον εσωτερικό ατομικό του φλοιό, δηλαδή προϋποθέτει την απομάκρυνση ενός δέσμιου ηλεκτρονίου. Η απομάκρυνση ενός δέσμιου εσωτερικού ατομικού ηλεκτρονίου επιτυγχάνεται είτε μέσω του βομβαρδισμού του ατόμου από κάποια μορφή ακτινοβολίας (φωτόνια, πρωτόνια, ηλεκτρόνια, σωμάτια α) με ενέργεια μεγαλύτερη της ενέργειας σύνδεσης του δέσμιου ηλεκτρονίου, είτε σαν αποτέλεσμα μιας δευτερογενούς διαδικασίας που ακολουθεί τη διάσπαση ενός ραδιενεργού πυρήνα. Για την απομάκρυνση των ατομικών ηλεκτρονίων του K φλοιού, και κατά συνέπεια για την παραγωγή των K χαρακτηριστικών ακτίνων των στοιχείων, ο Moseley χρησιμοποίησε μια δέσμη ηλεκτρονίων.

Στην άσκηση που θα πραγματοποιήσετε στο εργαστήριο, η πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Moseley θα γίνει με την καταγραφή των K_{α} χαρακτηριστικών ακτίνων X που εκπέμπονται κατά τη διάσπαση ραδιενεργών πυρήνων. Στην περίπτωση αυτή, η δημιουργία μιας κενής θέσης (οπής) στον K φλοιό είναι άμεσο αποτέλεσμα δύο πυρηνικών φυσικών διαδικασιών: Της σύλληψης ηλεκτρονίου (Electron Capture) και της εσωτερικής μετατροπής (Internal Conversion) που περιγράφονται στην παράγραφο 2.3.

2.3 Διαγράμματα διάσπασης, σύλληψη ηλεκτρονίου και εσωτερική μετατροπή.

Ορισμένα ισότοπα των στοιχείων του περιοδικού πίνακα που χαρακτηρίζονται ως ραδιενεργά, ή ασταθή, έχουν την ικανότητα εκπομπής ακτινοβολίας. Ιστορικά, η πυρηνική αποδιέγερση παρατηρήθηκε πρώτα από τον Becquerel, ο οποίος ανακάλυψε ότι ορισμένα ουρανιούχα ορυκτά είχαν την ιδιότητα να αμαυρώνουν τις φωτογραφικές πλάκες, όπως οι ακτίνες X που εκείνη την εποχή είχαν ανακαλυφθεί. Λεπτομερέστερη εξέταση έδειξε, πως η ακτινοβολία αυτή, που ήταν υπεύθυνη για την αμάυρωση των φωτογραφικών πλακών, αποτελούνταν από τρεις συνιστώσες. Κατά τη διέλευση τους μέσα από μαγνητικό πεδίο η πρώτη απέκλινε ως ένα θετικά φορτισμένο σωματίο, ή δεύτερη ως ένα ελαφρύ αρνητικά φορτισμένο σωματίο ενώ η τρίτη παρέμενε ανεπηρέαστη από το μαγνητικό πεδίο. Τα τρία είδη ακτινοβολίας ονομάστηκαν α , β και γ αντίστοιχα. Σήμερα γνωρίζουμε ότι η ακτινοβολία α είναι πυρήνες ${}^4\text{He}$ που εκπέμπονται αυθόρμητα από διάφορους βαρείς πυρήνες, η ακτινοβολία β ηλεκτρόνια και η ακτινοβολία γ ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που εκπέμπεται από την αποδιέγερση διεγερμένων καταστάσεων του πυρήνα.

Ο τρόπος αποδιέγερσης των ραδιενεργών πυρήνων απεικονίζεται μέσω των διαγραμμάτων διάσπασης. Ένα τέτοιο διάγραμμα διάσπασης εικονίζεται στο σχήμα 1.3. Στην πρώτη περίπτωση του διαγράμματος αυτού η διάσπαση του ραδιενεργού πυρήνα ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ με χρόνο ημιζωής 30 έτη γίνεται σε ποσοστό 6.5 % με εκπομπή ακτινοβολίας β^- (δηλαδή εκπομπή e^- σύμφωνα με τη διαδικασία $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ όπου $\bar{\nu}_e$ είναι το αντινεutrino, ένα αφόρτιστο στοιχειώδες σωματίο με μηδενική μάζα.) προς τη βασική κατάσταση του σταθερού θυγατρικού πυρήνα ${}^{137}_{56}\text{Ba}$, και σε ποσοστό 93.5% προς τη διεγερμένη κατάσταση του θυγατρικού πυρήνα ${}^{137}_{56}\text{Ba}$, ενέργειας 661.6 keV. Ο θυγατρικός πυρήνας, που βρίσκεται σ' αυτήν τη διεγερμένη στάθμη, αποδιεγείρεται στη συνέχεια προς τη βασική στάθμη είτε με εκπομπή ακτινοβολίας γ ενέργειας 661 keV, είτε μέσω της διαδικασίας της εσωτερικής μετατροπής (IC). Κατά την εσωτερική μετατροπή, το πλεόνασμα ενέργειας των 661.6 keV δεν εκπέμπεται υπό τη μορφή ακτινοβολίας γ , αλλά απορροφάται από ένα δέσμιο εσωτερικό ατομικό ηλεκτρόνιο με ενέργεια σύνδεσης U, με αποτέλεσμα τη διαφυγή του ηλεκτρονίου με κινητική ενέργεια $T_e = E_{\gamma} - U$ και τη δημιουργία μιας κενής θέσης (οπής) σε εσωτερικό ατομικό φλοιό. Η οπή αυτή καλύπτεται στη συνέχεια μέσω της μετάπτωσης ηλεκτρονίου από έναν υψηλότερο ενεργειακά ατομικό φλοιό του θυγατρικού πυρήνα του Ba, οπότε και προκαλείται είτε η παραγωγή των χαρακτηριστικών του ακτίνων X, είτε η παραγωγή ηλεκτρονίων Auger. Θα μπορούσαμε λοιπόν-καταχρηστικά ίσως-να πούμε, πως η εσωτερική μετατροπή είναι το ανάλογο της αποδιέγερσης Auger σε πυρηνικό επίπεδο.



Σχήμα 1.3: Τυπικό διάγραμμα διάσπασης ραδιενεργού πυρήνα.

Στην περίπτωση του ραδιενεργού πυρήνα $^{137}_{57}\text{La}$ η αποδιέγερση προς τη βασική στάθμη του θυγατρικού πυρήνα $^{137}_{56}\text{Ba}$ γίνεται μέσω της διαδικασίας της σύλληψης ηλεκτρονίου (EC). Κατά τη διαδικασία αυτή, η επικάλυψη της κυματοσυνάρτησης ενός ατομικού ηλεκτρονίου με τον πυρήνα οδηγεί στην απορρόφηση του ατομικού ηλεκτρονίου και στη δημιουργία ενός επιπλέον νετρονίου και ενός λιγότερου πρωτονίου σύμφωνα με τη σχέση $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$. Η διαδικασία αυτή έχει ξανά ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας κενής θέσης (οπής) σε εσωτερικό ατομικό φλοιό του θυγατρικού πυρήνα και κατά συνέπεια την παραγωγή των χαρακτηριστικών ακτίνων X του Ba, ή την παραγωγή ηλεκτρονίων Auger. Τα κύρια χαρακτηριστικά των δύο διαδικασιών που αναφέρθηκαν συνοψίζονται στον πίνακα 1.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Διαδικασία	Μητρικός πυρήνας	Θυγατρικός πυρήνας	Χαρακτηριστικές ακτίνες X
Εσωτερική μετατροπή	A_ZM	A_ZM (διεγερμένος)	Θυγατρικού
Σύλληψη ηλεκτρονίου	A_ZM	${}^A_{Z-1}M$	Θυγατρικού

3. Μέθοδος

Για την πειραματική επαβεβαίωση του νόμου του Moseley θα μετρηθούν οι ενέργειες διαφόρων K_α χαρακτηριστικών ακτίνων που εκπέμπονται κατά τη διάσπαση ραδιενεργών πυρήνων είτε μέσω εσωτερικής μετατροπής, είτε μέσω σύλληψης ηλεκτρονίου. Για την ανίχνευση και καταγραφή των φασμάτων εκπομπής θα χρησιμοποιήσετε ανιχνευτή NaI(Tl), και υπολογιστή με ενσωματωμένο πολυκαναλικό αναλυτή και λωπές ηλεκτρονικές μονάδες. Ο πολυκαναλικός αναλυτής περιλαμβάνει 1024 διαμερίσεις (κανάλια) και αποθηκεύει την πληροφορία που προέρχεται από τον ανιχνευτή σε συγκεκριμένο κανάλι ανάλογα με την ενέργεια της εισερχόμενης ακτινοβολίας στον ανιχνευτή. Ο γενικός κανόνας είναι ότι σε μεγαλύτερο αριθμό καναλιού αντιστοιχεί ακτινοβολία μεγαλύτερης ενέργειας. Με χρήση των ραδιενεργών πηγών ${}^{241}_{95}\text{Am}$, ${}^{109}_{48}\text{Cd}$ και ${}^{57}_{27}\text{Co}$, οι οποίες εκπέμπουν ακτινοβολίες γ γνωστής ενέργειας, θα βαθμονομήσετε μέσω του λογισμικού το σύστημα δηλαδή θα εξάγετε μια σχέση μεταξύ της ενέργειας της ανιχνευόμενης ακτινοβολίας και του καναλιού στο οποίο αυτή καταγράφεται. Στη συνέχεια, και με χρήση των ραδιενεργών πηγών ${}^{109}_{48}\text{Cd}$, ${}^{241}_{95}\text{Am}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ και ${}^{133}_{56}\text{Ba}$, θα προσδιορίσετε την ενέργεια των K_α χαρακτηριστικών ακτίνων X που εκπέμπονται σαν αποτέλεσμα εσωτερικής μετατροπής, ή σύλληψης ηλεκτρονίου, και θα εφαρμόσετε για αυτές τον νόμο του Moseley. Σημειώστε ότι στην περίπτωση της πηγής ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ έχετε στη διάθεσή σας μία επιπλέον χαρακτηριστική ακτίνα X, την $\text{Pb}(K_\alpha)$ η οποία προέρχεται από τη διέγερση ατόμων Pb της θωράκισης του ανιχνευτή από την ακτινοβολία γ της πηγής ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, ενέργειας 661 keV. Στην περίπτωση αυτή, το φωτόνιο, ενέργειας 661 keV, αλληλεπιδρά μέσω φωτοηλεκτρικού φαινομένου με ένα ηλεκτρόνιο του K φλοιού του ατόμου Pb και το απομακρύνει με αποτέλεσμα την παραγωγή των χαρακτηριστικών ακτίνων του Pb.

4. Πειραματική διάταξη

1. Ανιχνευτής NaI(Tl) και υπολογιστής με ενσωματωμένο πολυκαναλικό αναλυτή.
2. Ραδιενεργές πηγές: ${}^{109}_{48}\text{Cd}$, ${}^{241}_{95}\text{Am}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, ${}^{57}_{27}\text{Co}$ και ${}^{133}_{56}\text{Ba}$.

Βιβλιογραφία

1. H. D. Young, Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική και Σύγχρονη Φυσική, Εκδόσεις Παπαζήση, 1992
2. R. Serway, C. Moses and C. Moyer, Τόμος IV, Σύγχρονη Φυσική, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2000
3. Εργαστηριακές ασκήσεις Φ.Σ.Κ., Άσκηση 1, "Περίθλαση ακτίνων X".

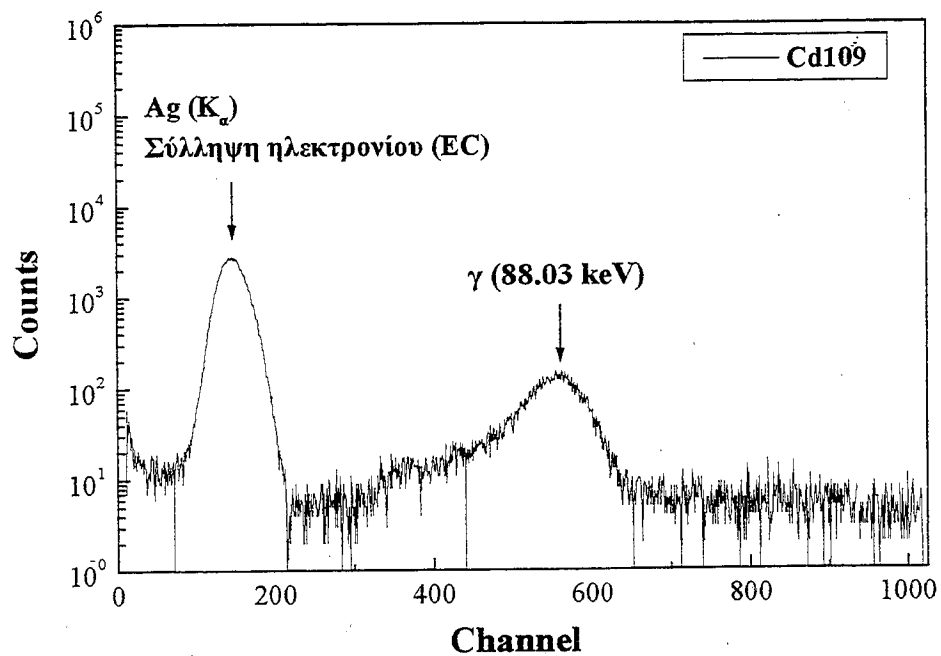
5. Εκτέλεση

1. Τοποθετήστε τη ραδιενεργό πηγή $^{109}_{48}\text{Cd}$ στη θήκη και εισάγετε τη θήκη στη δεύτερη θυρίδα της βάσης τοποθέτησης ακριβώς κάτω από τον ανιχνευτή NaI(Tl) .
2. Ξεκινήστε την καταγραφή του φάσματος εκπομπής πιέζοντας το πλήκτρο START και μετρήστε έως ότου η μορφή του φάσματος γίνει παρόμοια με αυτή που εικονίζεται στο σχήμα Π1α του παραρτήματος. Τερματίστε την καταγραφή πιέζοντας το πλήκτρο STOP.
3. Επιλέξτε από το menu που εικονίζεται στην οθόνη: Settings – ROIs – Set ROI. Στη συνέχεια τοποθετώντας τον κέρσορα αριστερά από την φωτοκορυφή της ακτίνας $\gamma(88.03 \text{ keV})$, που εικονίζεται στο σχήμα Π1α του παραρτήματος, σύρτε το ποντίκι έως το δεξιότερο άκρο της φωτοκορυφής. Η φωτοκορυφή θα χρωματιστεί. Αναγνώστε από το κάτω μέρος της οθόνης τον αριθμό καναλιού που αντιστοιχεί στο κεντροειδές της φωτοκορυφής και σημειώστε το μαζί με την ενέργεια της ακτίνας γ .
4. Επαναλάβετε τη διαδικασία 1,2 και 3 για τις πηγές $^{57}_{27}\text{Co}$ ($\gamma(122 \text{ keV})$, Π2α) και $^{241}_{95}\text{Am}$ ($\gamma(26.3 \text{ keV})$, Π3α). **ΠΡΟΣΟΧΗ!!!** Η τοποθέτηση και αφαίρεση των πηγών να γίνεται πάντα με τη χρήση λαβίδας!!!!
5. Βαθμονομήστε τη διάταξη χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που πήρατε από την καταγραφή των φωτοκορυφών γ των τριών πηγών. Επιλέξτε από το menu της οθόνης Settings – Energy Calibrate – 3 Points. Στο menu που παρουσιάστηκε εισάγετε με τη σειρά τις τιμές: Αριθμός καναλιού – Ενέργεια φωτοκορυφής γ . Στο τέλος της διαδικασίας αυτής ο οριζόντιος άξονας θα αναγράφει τιμές ενέργειας σε όλο το εύρος.
6. Επιβεβαιώστε ότι η βαθμονόμηση είναι σωστή καταγράφοντας πάλι για σύντομο χρονικό διάστημα το φάσμα εκπομπής της πηγής $^{241}_{95}\text{Am}$. Ελέγξτε εάν η πραγματική ενέργεια της φωτοκορυφής γ (59.6 keV , Π3α) συμφωνεί με την τιμή που προκύπτει μετά τη βαθμονόμηση.
7. Καταγράψτε τα φάσματα εκπομπής των πηγών $^{109}_{48}\text{Cd}$, $^{241}_{95}\text{Am}$, $^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{133}_{56}\text{Ba}$ και μετρήστε αυτή τη φορά τις ενέργειες E των χαρακτηριστικών ακτίνων X που εκπέμπονται από τους ραδιενεργούς πυρήνες (Π1α – Π5α). Εκτιμήστε το σφάλμα στον προσδιορισμό της ενέργειας E .

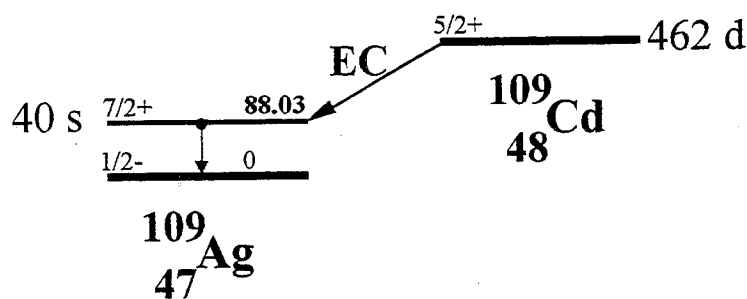
6. Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων.

1. Από τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιήσατε για τη βαθμονόμηση του συστήματος φτιάξτε ένα διάγραμμα της ενέργειας συναρτήσει του αριθμού του καναλιού. Είναι η σχέση αυτή γραμμική?
2. Παραστήστε γραφικά τις ενέργειες των ακτίνων X (με τα σφάλματά τους) που μετρήσατε, συναρτήσει της ποσότητας $(Z-1)^2$, όπου Z ο ατομικός αριθμός του στοιχείου που εκπέμπει τη χαρακτηριστική ακτίνα X . Στο ίδιο διάγραμμα να παρασταθούν και οι αναμενόμενες τιμές των χαρακτηριστικών ακτίνων X που περιέχονται στον πίνακα του παραρτήματος Π2. Συγκρίνετε την τιμή που προκύπτει από την κλίση της πειραματικής ευθείας με την τιμή της σταθεράς C του νόμου του Moseley της σχέσης (2). Σχολιάστε.

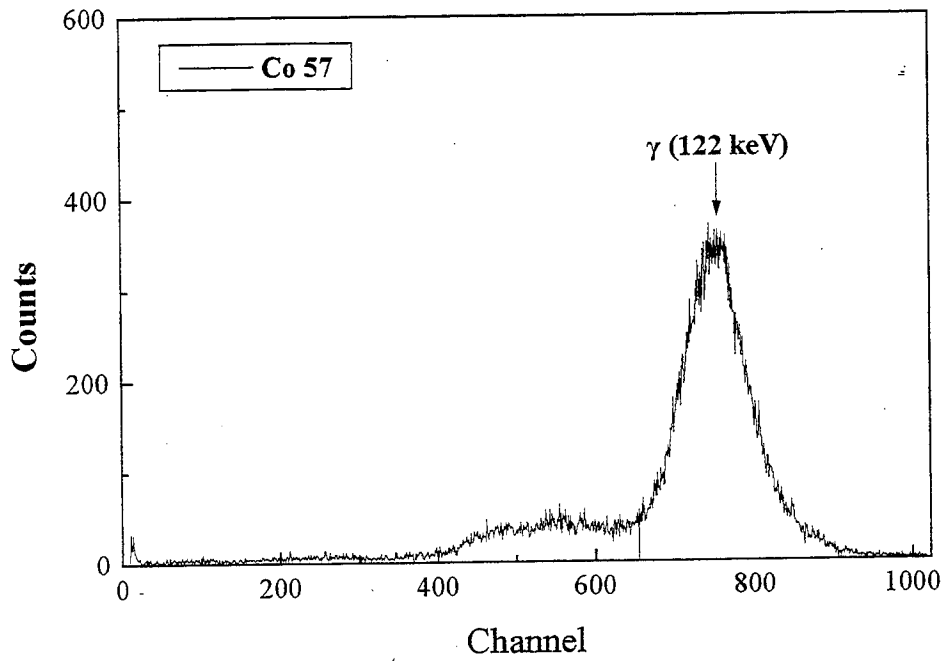
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



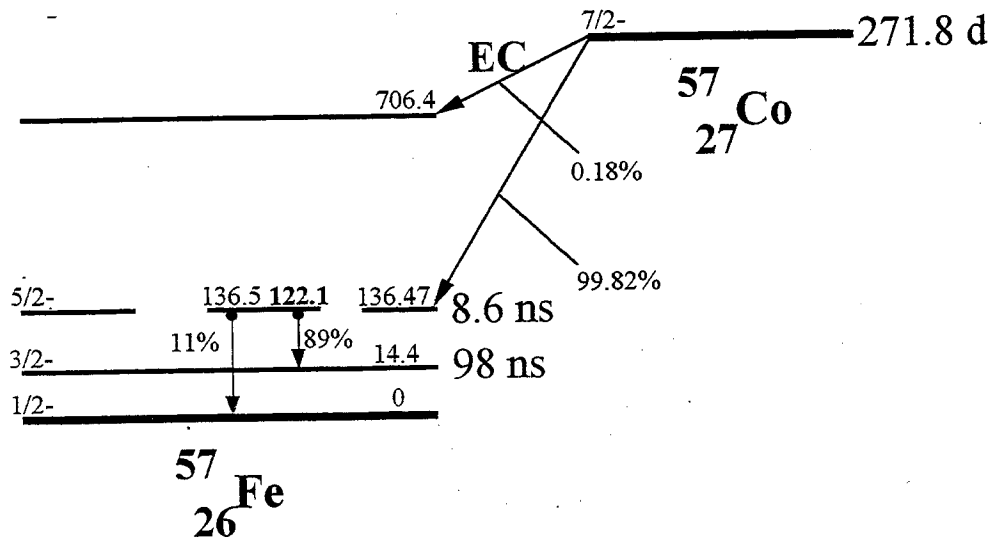
Π1α: Φάσμα εκπομπής της ραδιενεργού πηγής $^{109}_{48}\text{Cd}$.



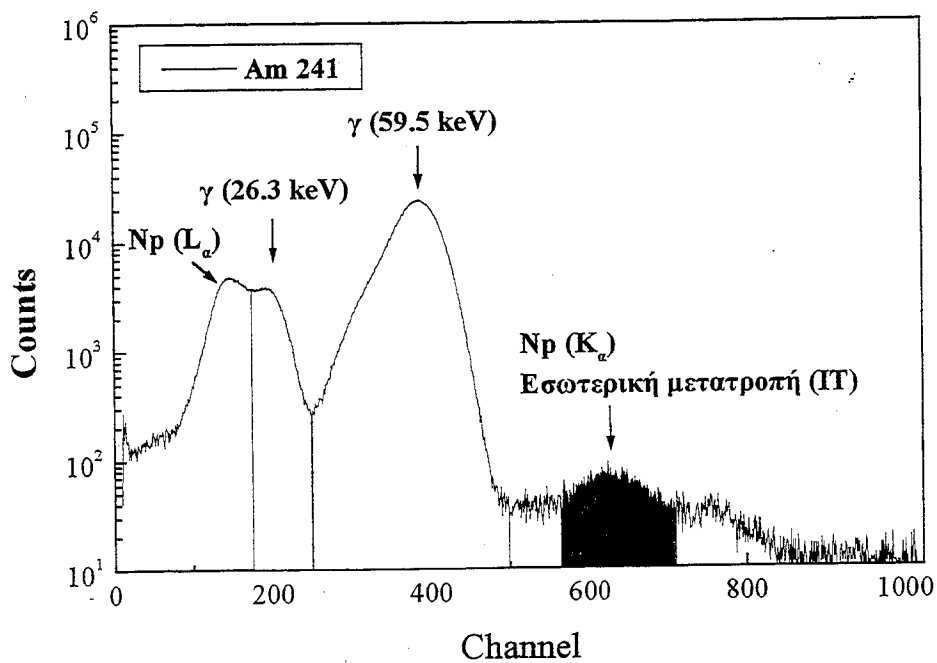
Π1β: Διάγραμμα διάσπασης της ραδιενεργού πηγής $^{109}_{48}\text{Cd}$.



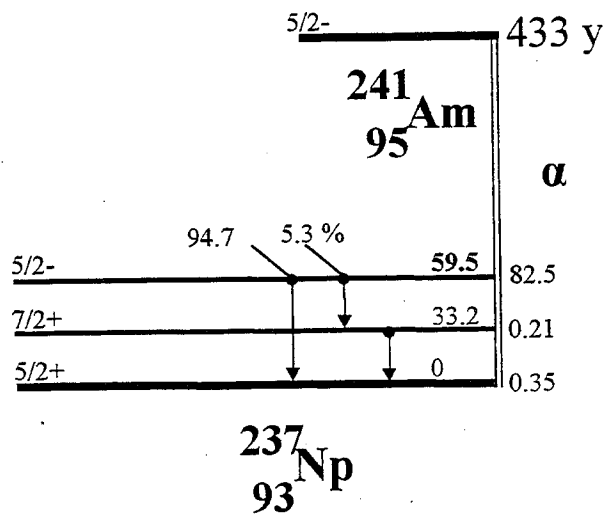
Π2α: Φάσμα εκπομπής της ραδιενεργού πηγής $^{57}_{27}\text{Co}$.



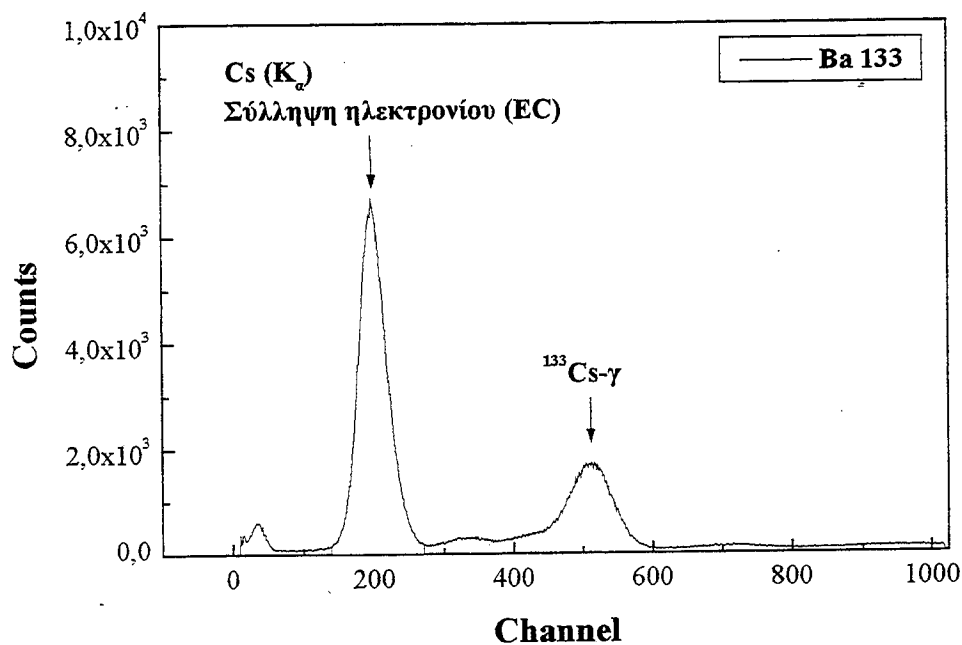
Π2β: Διάγραμμα διάσπασης της ραδιενεργού πηγής $^{57}_{27}\text{Co}$.



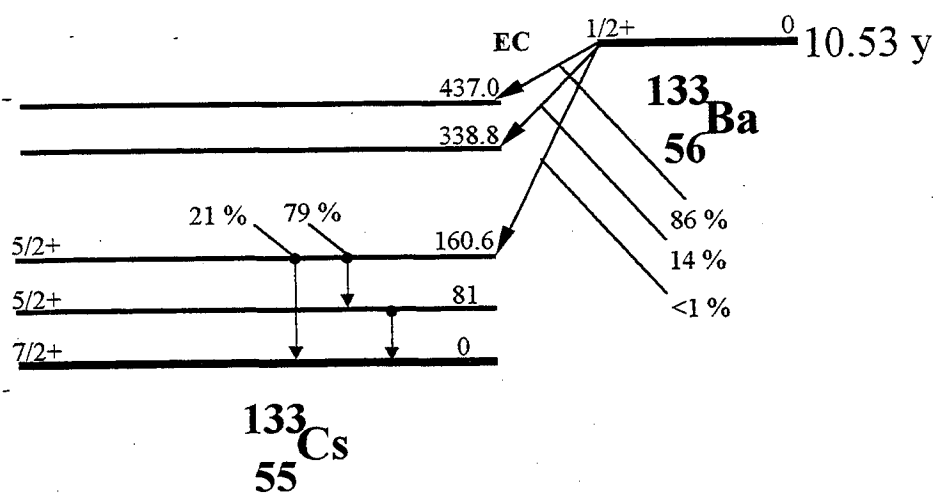
Π3α: Φάσμα εκπομπής της ραδιενεργού πηγής $^{241}_{95}\text{Am}$.



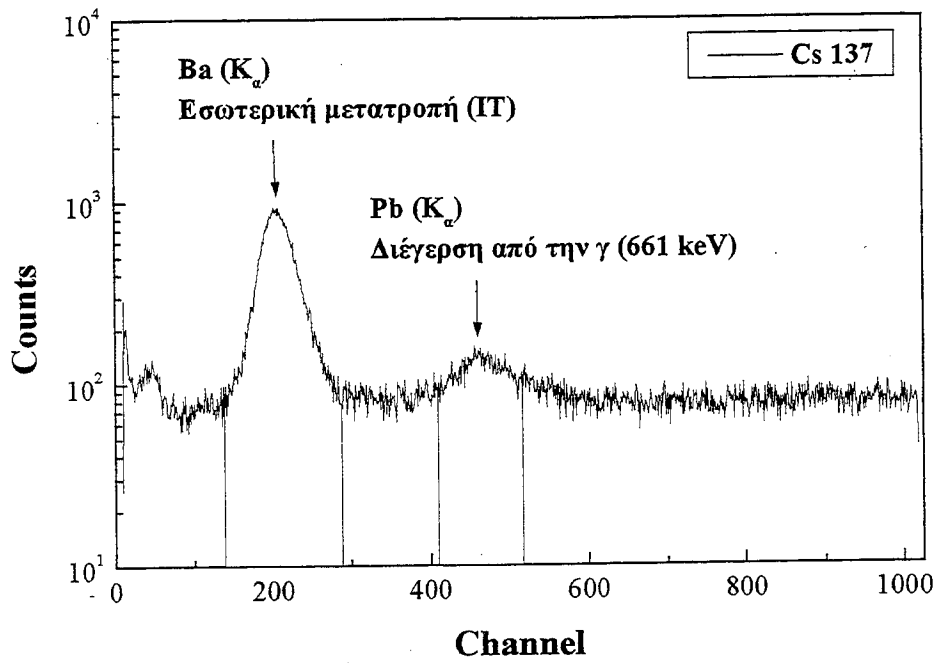
Π3β: Διάγραμμα διάσπασης της ραδιενεργού πηγής $^{241}_{95}\text{Am}$.



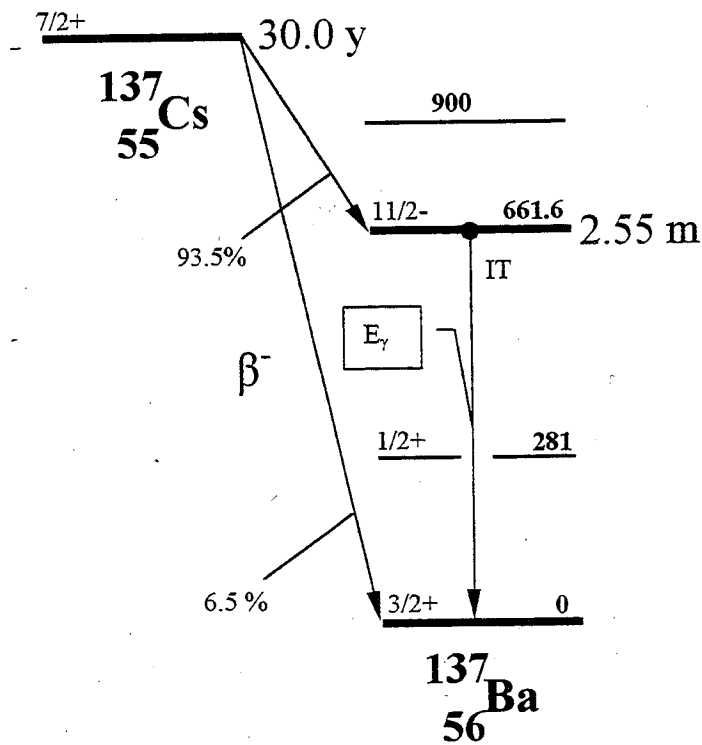
Π4α: Φάσμα εκπομπής της ραδιενεργού πηγής $^{133}_{56}\text{Ba}$.



Π4β: Διάγραμμα διάσπασης της ραδιενεργού πηγής $^{133}_{56}\text{Ba}$.



Π5α: Φάσμα εκτομής της ραδιενεργού πηγής $^{137}_{55}\text{Cs}$.



Π5β: Διάγραμμα διάσπασης της ραδιενεργού πηγής $^{137}_{55}\text{Cs}$.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Κατάλογος ακτίνων Χ.

Atomic Number (Z)	Element	$K_{\alpha 1}$ Energy (keV)	$K_{\alpha 2}$ Energy (keV)	K-Shell Absorption Energy (keV)
35	Bromine, Br	11.9	11.9	13.5
36	Krypton, Kr	12.6	12.6	14.3
37	Rubidium, Rb	13.4	13.3	15.2
38	Strontium, Sr	14.2	14.1	16.1
39	Yttrium, Y	15.0	14.9	17.0
40	Zirconium, Zr	15.8	15.7	18.0
41	Niobium, Nb	16.6	16.5	19.0
42	Molybdenum, Mo	17.5	17.4	20.0
43	Technetium, Tc	18.4	18.3	21.0
44	Ruthenium, Ru	19.3	19.2	22.1
45	Rhodium, Rh	20.2	20.1	23.2
46	Palladium, Pd	21.2	21.0	24.3
47	Silver, Ag	22.2	22.0	25.5
48	Cadmium, Cd	23.2	23.0	26.7
49	Indium, In	24.2	24.0	27.9
50	Tin, Sn	25.3	25.0	29.2
51	Antimony, Sb	26.4	26.1	30.5
52	Tellurium, Te	27.5	27.2	31.8
53	Iodine, I	28.6	28.3	33.2
54	Xenon, Xe	29.8	29.5	34.6
55	Cesium, Cs	31.0	30.6	36.0
56	Barium, Ba	32.2	31.8	37.5
57	Lanthanum, La	33.4	33.0	38.9
58	Cerium, Ce	34.7	34.3	40.5
59	Praseodymium, Pr	36.0	35.6	42.0
60	Neodymium, Nd	37.4	36.8	43.6
61	Promethium, Pm	38.7	38.2	45.2
62	Samarium, Sm	40.1	39.5	46.8
63	Europium, Eu	41.5	40.9	48.5
64	Gadolinium, Gd	43.0	42.3	50.2
65	Terbium, Tb	44.5	43.7	52.0
66	Dysprosium, Dy	46.0	45.2	53.8
67	Holmium, Ho	47.5	46.7	55.6
68	Erbium, Er	49.1	48.2	57.5
69	Thulium, Tm	50.7	49.8	59.4
70	Ytterbium, Yb	52.4	51.4	61.3
71	Lutetium, Lu	54.1	53.0	63.3
72	Hafnium, Hf	55.8	54.6	65.3

Atomic Number (Z)	Element	K _{α1} Energy (keV)	K _{α2} Energy (keV)	K-Shell Absorption Energy (keV)
73	Tantalum, Ta	57.5	56.3	67.4
74	Tungsten, W	59.3	58.0	69.5
75	Rhenium, Re	61.1	59.7	71.7
76	Osmium, Os	63.0	61.5	73.9
77	Iridium, Ir	64.9	63.3	76.1
78	Platinum, Pt	66.8	65.1	78.4
79	Gold, Au	68.8	67.0	80.7
80	Mercury, Hg	70.8	68.9	83.1
81	Thallium, Tl	72.9	70.8	85.5
82	Lead, Pb	75.0	72.8	88.0
83	Bismuth, Bi	77.1	74.8	90.5
84	Polonium, Po	79.3	76.9	93.1
85	Astatine, At	81.5	79.0	95.7
86	Radon, Rn	83.8	81.1	98.4
87	Francium, Fr	86.1	83.2	101.1
88	Radium, Ra	88.5	85.4	103.9
89	Actinium, Ac	90.9	87.7	106.8
90	Thorium, Th	93.4	90.0	109.6
91	Protactinium, Pa	95.9	92.3	112.6
92	Uranium, U	98.4	94.7	115.6
93	Neptunium, Np	101.1	97.1	118.7
94	Plutonium, Pu	103.8	99.6	121.8
95	Americium, Am	106.5	102.1	125.0
96	Curium, Cm	109.3	104.4	128.2
97	Berkelium, Bk	112.1	107.2	131.6
98	Californium, Cf	116.0	110.7	136.0
99	Einsteinium, Es	119.1	113.5	139.5
100	Fermium, Fm	122.2	116.3	143.1
101	Mendelevium, Md	125.4	119.2	146.8
102	Nobelium, No	128.7	122.1	150.5
103	Lawrencium, Lw	132.0	125.1	154.4
104	Rutherfordium, Rf			
105	Hahnium, Ha			
106	*Seaborgium, Sg			
107	*Bohrium, Bh			
108	*Hassium, Hs			
109	*Meitnerium, Mt			
110	**			
111	**			
112	**			