

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Βασίλης Τσικούρας  
Τμήμα Γεωλογίας  
Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών

Πάτρα Μάρτιος 2013

1  
30/1/2013

---

## Φασματοσκοπία Raman

---

2  
30/1/2013

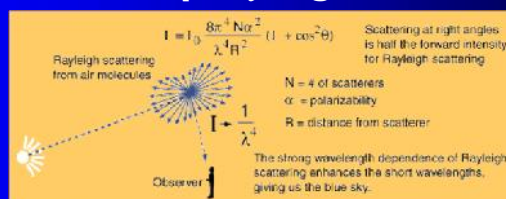
## Σκέδαση Φωτονίων

- Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει σε ένα μόριο ή κρύσταλλο, τότε ένα φωτόνιο απορροφάται από αυτό και ταυτόχρονα ένα άλλο φωτόνιο παράγεται και εκπέμπεται
- Αυτό συνιστά τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία

3  
30/1/2013

## Σκέδαση Φωτονίων

- Η ταξινόμηση των σκεδάσεων βασίζεται στη διαφορά ενέργειας μεταξύ προσπίπτοντος και σκεδαζόμενου φωτονίου
- Αν αυτές οι δυο ενέργειες είναι ίσες, τότε έχουμε σκέδαση *Rayleigh*



4  
30/1/2013

## Σκέδαση Φωτονίων

- Για παράδειγμα το μπλε χρώμα του ουρανού είναι αποτέλεσμα της σκέδασης Rayleigh, η οποία είναι αποτελεσματικότερη στα μικρότερα μήκη κύματος



5  
30/1/2013

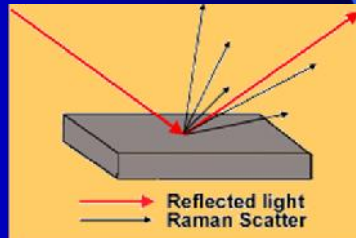
## Σκέδαση Φωτονίων

- Αν οι ενέργειες αυτές διαφέρουν μεταξύ τους τότε έχουμε σκέδαση *Raman*
- Η σκέδαση *Raman* ή φαινόμενο *Raman*, ανακαλύφθηκε το 1928 από τον Venkata C. Raman (Βραβείο Nobel Φυσικής, 1930)

6  
30/1/2013

## Φαινόμενο Raman

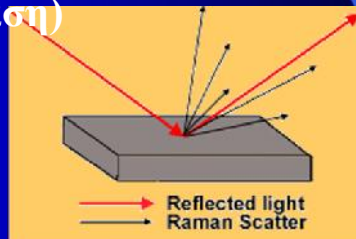
- Όταν το φως σκεδάζεται μέσα από ένα μόριο, τα περισσότερα φωτόνια σκεδάζονται ελαστικά. Τα ελαστικά σκεδαζόμενα φωτόνια έχουν την ίδια ενέργεια (συχνότητα) και άρα και το ίδιο μήκος κύματος με τα προσπίπτοντα φωτόνια



7  
30/1/2013

## Φαινόμενο Raman

- Παρόλα αυτά ένα μικρό ποσοστό φωτονίων (περίπου 1 στα  $10^7$ ) σκεδάζεται με συχνότητες διαφορετικές, και συνήθως μικρότερες, από αυτές τη συχνότητα των φωτονίων που προσπίπτουν στο μόριο (ανελαστική σκέδαση)



8  
30/1/2013

## Φαινόμενο Raman

- Η σκέδαση Raman μπορεί να πραγματοποιηθεί με αλλαγή στις ενέργειες ταλάντωσης, περιστροφής ή/και της δυναμικής ενέργειας των ηλεκτρονίων του μορίου



9  
30/1/2013

## Φαινόμενο Raman

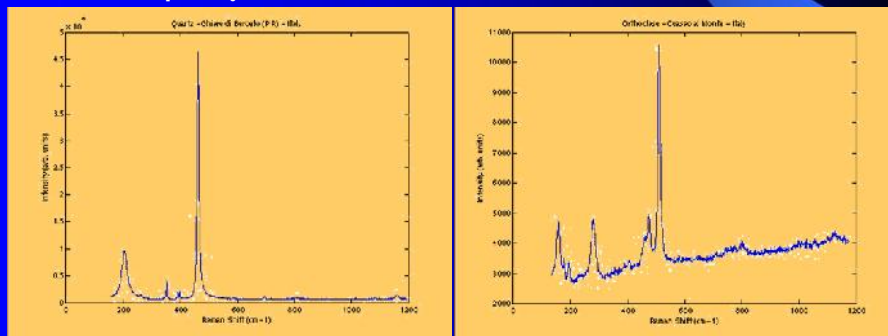
- Συνήθως ασχολούμαστε με την αλλαγή της ενέργειας ταλάντωσης που είναι εντονότερη (δονητικό φαινόμενο Raman)
- Στο εξής με τον όρο φαινόμενο Raman θα εννοούμε το δονητικό φαινόμενο Raman



10  
30/1/2013

## Φάσμα Raman

- Η προβολή της έντασης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας προς τη διαφορά ενέργειας των φωτονίων, είναι ένα φάσμα Raman



30/1/2013

## Φάσμα Raman

- Αν η ουσία που πρόκειται να μελετηθεί, φωτιστεί με μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας  $\nu_0$ , τότε το φάσμα του σκεδαζόμενου φωτός αποτελείται από μια ισχυρή γραμμή (εκπεμπόμενη ακτινοβολία), η οποία αντιστοιχεί στην ίδια συχνότητα με αυτήν της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

12  
30/1/2013

## Φάσμα Raman

- Μαζί με αυτήν όμως εμφανίζονται και κάποιες ασθενείς γραμμές δεξιά και αριστερά της ισχυρής
- Η μετατόπιση τους από την ισχυρή γραμμή κυμαίνεται από μερικά  $\text{cm}^{-1}$  μέχρι και  $3500 \text{ cm}^{-1}$

13  
30/1/2013

## Φάσμα Raman

- Οι γραμμές που αντιστοιχούν σε συχνότητα μικρότερη από αυτήν της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ονομάζονται γραμμές Stokes
- Οι γραμμές που αντιστοιχούν σε συχνότητα μεγαλύτερη από αυτήν της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ονομάζονται γραμμές anti-Stokes

14  
30/1/2013

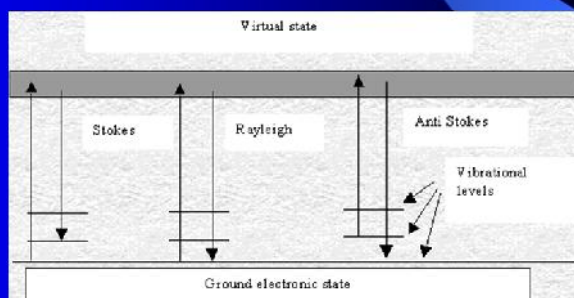
## Φάσμα Raman

- Το φαινόμενο Raman εμφανίζεται όταν ένα φωτόνιο προσπίπτει σε ένα μόριο και αλληλεπιδρά με το ηλεκτρικό δίπολο αυτού
- Είναι μια μορφή ηλεκτρονιακής (για την ακρίβεια δονητικής) φασματοσκοπίας, αν και το φάσμα περιέχει συχνότητες ταλάντωσης

15  
30/1/2013

## Διάγραμμα Ενεργειακών Σταθμών στο Φαινόμενο Raman

- Το φαινόμενο της σκέδασης πραγματοποιείται σε χρόνο της τάξης των  $10^{-14}$  s ή λιγότερο

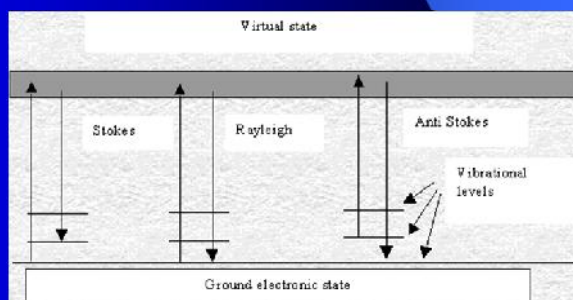


16  
30/1/2013



## Διάγραμμα Ενεργειακών Σταθμών στο Φαινόμενο Raman

- Η ενεργειακή διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας και της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας αντιπροσωπεύεται από τα διαφορετικά μήκη των μεταβάσεων



## Μετατόπιση Raman

- Η διαφορά μεταξύ της αρχικής και τελικής στάθμης ενέργειας ταλάντωσης, περιγράφεται με τον όρο “Μετατόπιση Raman”
- Δίδεται σε  $\text{cm}^{-1}$ , από τη σχέση:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda_{\text{inc}}} - \frac{1}{\lambda_{\text{scat}}}$$

## Μετατόπιση Raman

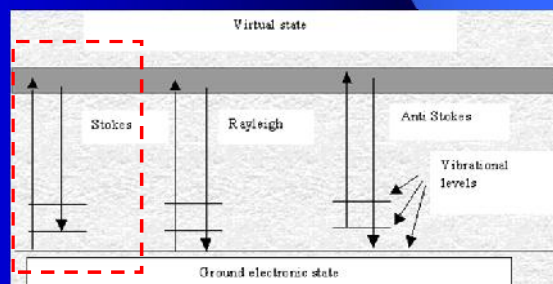
$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda_{\text{inc}}} - \frac{1}{\lambda_{\text{scat}}}$$

- Όπου  $\lambda_{\text{inc}}$  και  $\lambda_{\text{scat}}$  τα μήκη κύματος της προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης κατά Raman ακτινοβολίας αντίστοιχα, σε  $\text{cm}^{-1}$

19  
30/1/2013

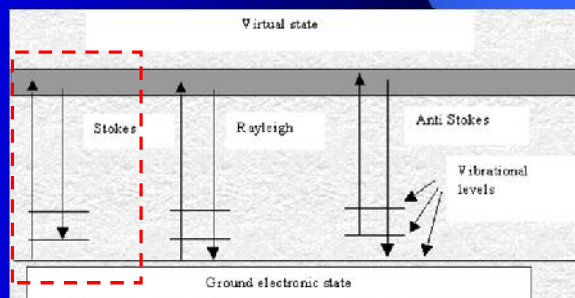
## Φασματικές γραμμές Stokes

- Η αρχική στάθμη του φωτονίου είναι στη θεμελιώδη κατάσταση ενώ το σκεδαζόμενο φωτόνιο θα έχει χαμηλότερη ενέργεια (άρα μεγαλύτερο μήκος κύματος) από το διεγερμένο φωτόνιο



## Φασματικές γραμμές Stokes

- Αυτή η μετατόπιση της σκέδασης κατά Stokes είναι αυτό που συνήθως παρατηρείται στη φασματοσκοπία Raman



## Φαινόμενο Raman στους κρυστάλλους

- Ταλαντώσεις του κρυσταλλικού πλέγματος δίδουν επίσης το φαινόμενο Raman
- Στα κρυσταλλικά στερεά το φαινόμενο Raman έχει να κάνει με φωνόνια αντί για μοριακές ταλαντώσεις

## Φωνόνια

- Τα άτομα στα κρυσταλλικά σώματα είναι συνδεδεμένα με δεσμούς έτσι ώστε δεν μπορούν να ταλαντώνονται ανεξάρτητα.
- Οι ταλαντώσεις που πραγματοποιούνται έχουν μορφή αθροιστική που διαδίδονται μέσα στο υλικό
- Αυτές οι διαδιδόμενες ταλαντώσεις του πλέγματος μπορούν να θεωρηθούν ως ηχητικά κύματα και η ταχύτητα διάδοσης τους είναι ίση με την ταχύτητα του ήχου στο συγκεκριμένο υλικό

23  
30/1/2013

## Σκέδαση Brillouin

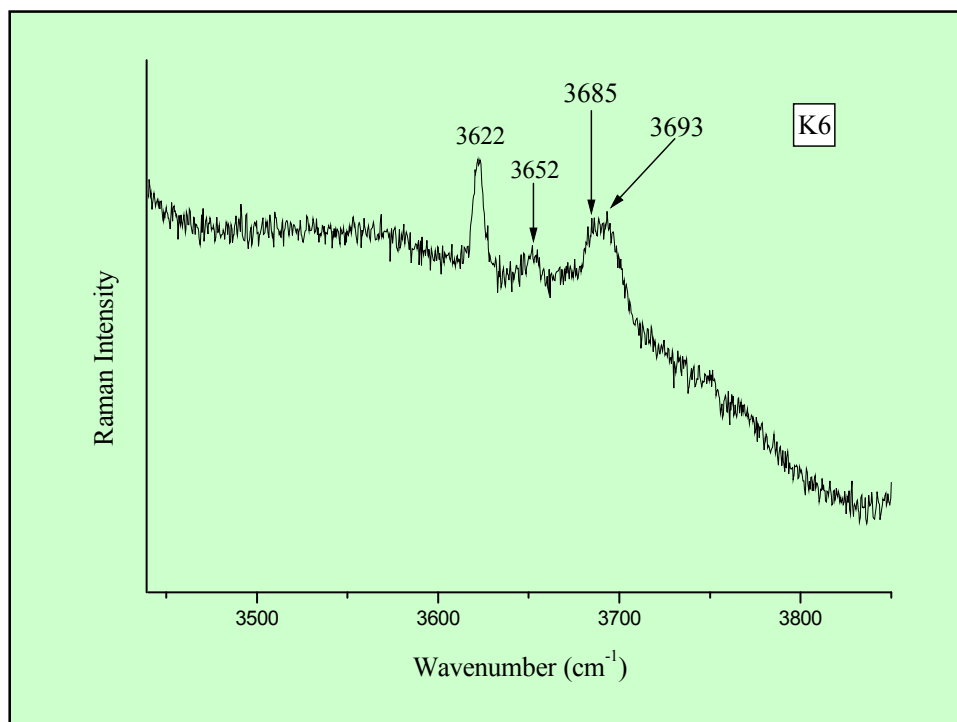
- Για κάθε κρυσταλλική τάξη μπορούμε να υπολογίσουμε ποια φωνόνια είναι ενεργά σε Raman και με ποια γεωμετρία (δηλαδή για ποια διεύθυνση πόλωσης του προσπίπτοντος και σκεδαζόμενου φωτός σε σχέση με τους κρυσταλλογραφικούς άξονες)
- Με μετρήσεις σε τέτοιες ελεγχόμενες διευθύνσεις μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την κρυσταλλική δομή και το πλέγμα των κρυστάλλων

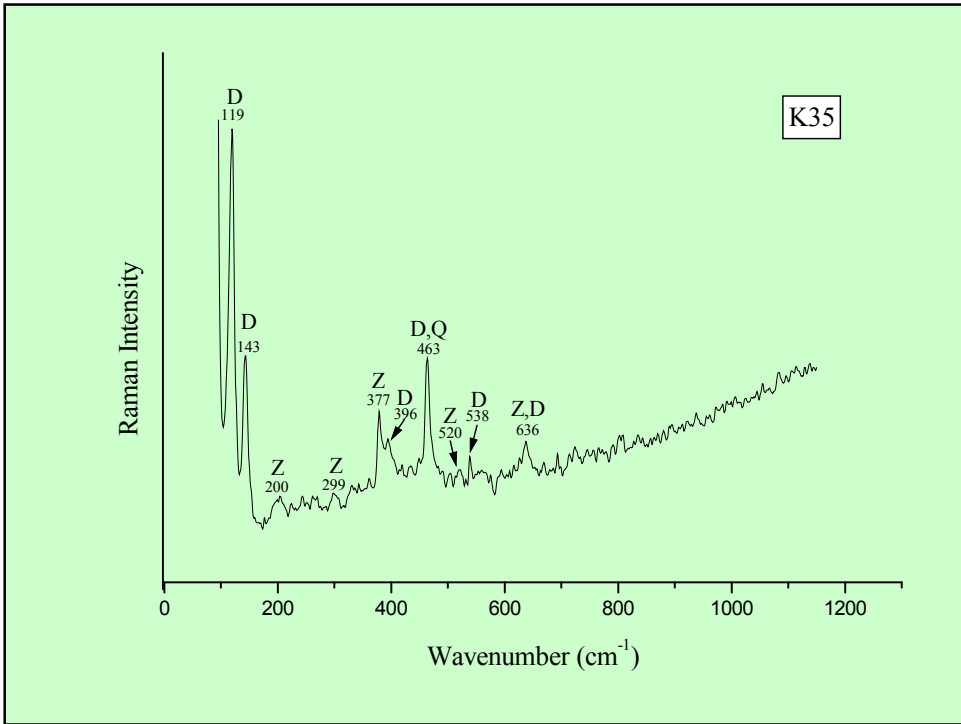
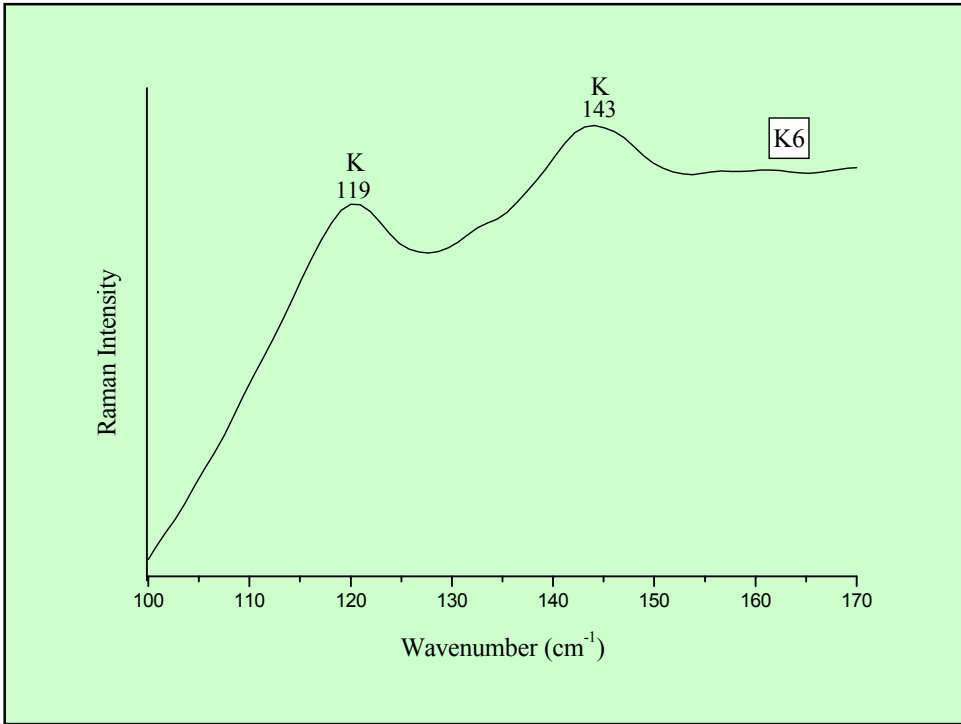
24  
30/1/2013

## Φαινόμενο Raman στους κρύσταλλους

- Το σήμα Raman είναι πολύ ασθενές. Μόνο 1 φωτόνιο στα  $10^7$ , σκεδάζεται με το φαινόμενο αυτό
- Τα φάσματα των κρυστάλλων και πάλι δείχνουν την ένταση προς τον κυματαριθμό και επομένως οι κορυφές αντιστοιχούν στην ενέργεια των φωνονίων

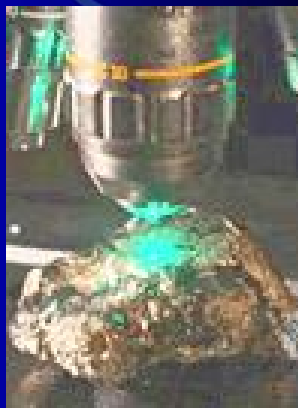
25  
30/1/2013





## Φασματοσκοπία Raman

- Με την εξέλιξη των laser, το φαινόμενο Raman, σήμερα έχει γίνει μια πολύ σημαντική τεχνική στη μελέτη της μοριακής ή κρυσταλλικής δομής

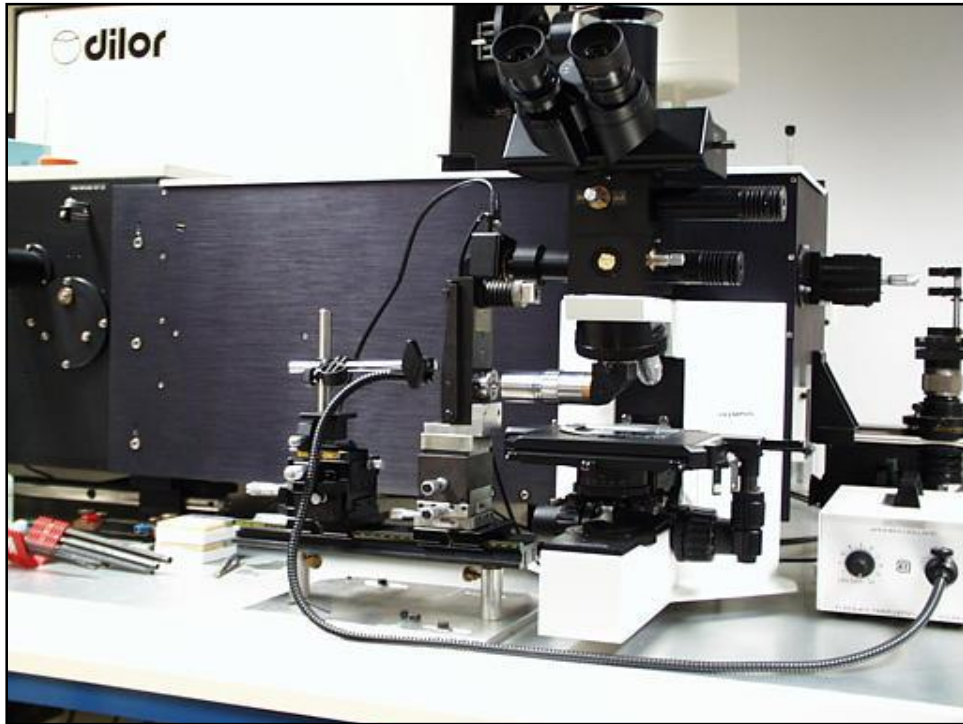


29  
30/1/2013

## Φασματοσκοπία Raman

- Η φασματοσκοπία Raman πραγματοποιείται συνήθως με πράσινο, κόκκινο ή σχεδόν υπέρυθρο φως laser
- Τα μήκη κύματος αυτών είναι μικρότερα από αυτά των φωτονίων που αντιστοιχούν στις πρώτες ηλεκτρονιακές μεταβάσεις

30  
30/1/2013



## Θερμική Ανάλυση

32  
30/1/2013



## Ορισμός

- Οι τεχνικές θερμικής ανάλυσης είναι μια ομάδα πειραμάτων, με τα οποία μια φυσική ιδιότητα κάποιας ουσίας μετράται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν αυτή μεταβάλλεται με ένα προγραμματισμένο τρόπο

33  
30/1/2013

## Θερμική ανάλυση

- Υπάρχουν πάνω από δώδεκα διαφορετικές μέθοδοι που διαφέρουν στις παραμέτρους και στον τρόπο προγραμματισμού της θερμοκρασίας
- Χρησιμοποιούνται στον ποιοτικό έλεγχο, σε ερευνητικές εφαρμογές σε διάφορα υλικά και στην κατασκευή διαγραμμάτων φάσεων

34  
30/1/2013

## Διαφορική Θερμοανάλυση (DTA)

- Στη διαφορική θερμοανάλυση, υπολογίζεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος κι ενός αδρανούς υλικού αναφοράς, με την προϋπόθεση ότι έχουμε ιδανική ομοιόμορφη θέρμανση και των δυο

35  
30/1/2013

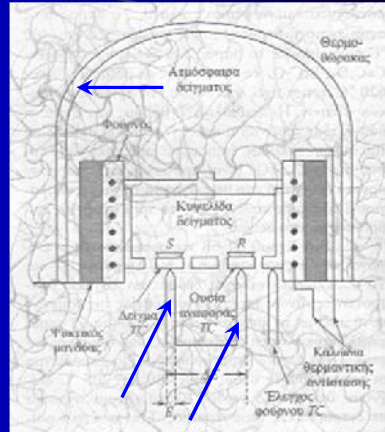
## Διαφορική Θερμοανάλυση

- Το δείγμα αναφοράς είναι μια αδρανής ουσία, όπως οξείδιο του αργιλίου, καρβίδιο του πυριτίου ή μικρά γυάλινα σφαιρίδια
- Η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι κάποιο δείγμα, που πρόκειται να αναλυθεί, αποσυντίθεται σε αυξημένες θερμοκρασίες

36  
30/1/2013

## Η συσκευή DTA

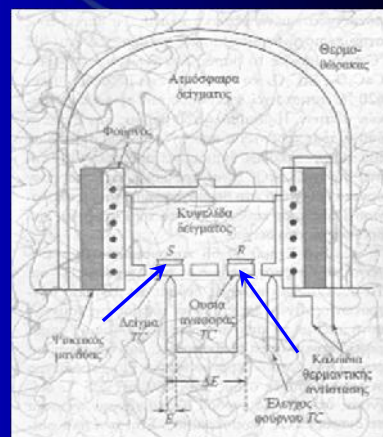
- Αποτελείται από ένα θερμοζεύγος με τους δειγματοφορείς του προτύπου και του δείγματος
- Περιβάλλεται από κεραμικό ή μεταλλικό περίβλημα



37  
30/1/2013

## Η συσκευή DTA

- Οι δειγματοφορείς αποτελούνται από κεραμικό υλικό, διοξείδιο του πυριτίου ή πλατίνα, ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας και τη φύση του υλικού που αναλύεται



38  
30/1/2013

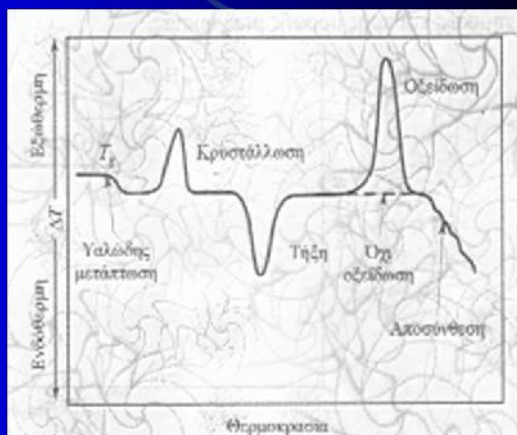
## Διαφορική Θερμοανάλυση

- Υπάρχει συνεχής καταγραφή της διαφοράς θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) μεταξύ δείγματος και πρότυπου αναφοράς, η οποία προβάλλεται σε διάγραμμα σε σχέση με το χρόνο ή με τη θερμοκρασία
- Αλλαγές στο δείγμα που σχετίζονται με απορρόφηση ή αποβολή ενέργειας (ενδόθερμα ή εξώθερμα φαινόμενα) ανιχνεύονται σε σύγκριση πάντα με το αδρανές αναφοράς

39  
30/1/2013

## Διαφορική Θερμοανάλυση

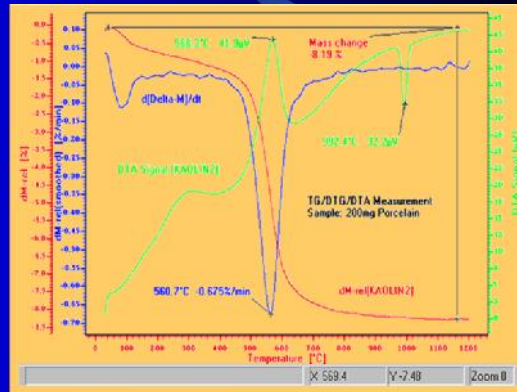
- Τότε η γραμμή του υποβάθρου στο φάσμα εμφανίζει ασυνέχειες (θετικές ή αρνητικές ανωμαλίες)



40  
30/1/2013

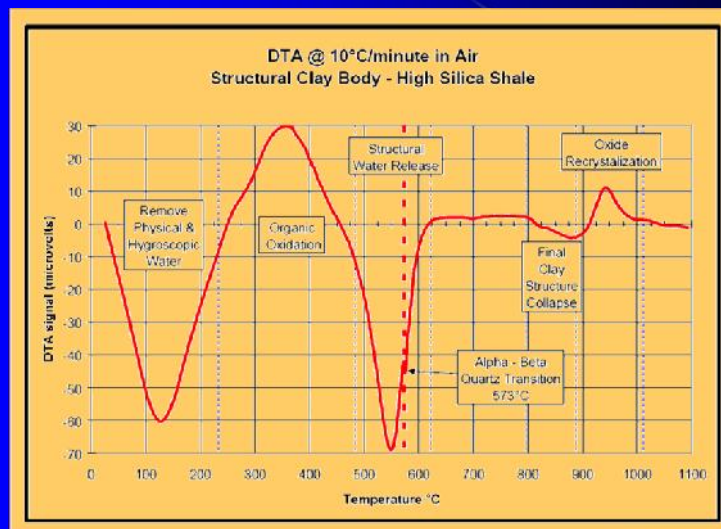
# Διαφορική Θερμοανάλυση

- Μια καμπύλη DTA αποτελεί το “δακτυλικό αποτύπωμα” της ουσίας που ανιχνεύεται



41  
30/1/2013

# Παράδειγμα ερμηνείας διαφορικού θερμογραφήματος



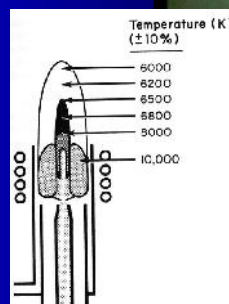
42  
30/1/2013

# Φασματοσκοπία Επαγωγικά Συζευγμένου Πλάσματος (Inductively Coupled Plasma, ICP)

43  
30/1/2013

## Γενικά

- Πρόκειται για μέθοδο, η θερμική πηγή της οποίας εξαχνώνει, διεγείρει ή και ιονίζει (σχηματισμός πλάσματος) τα άτομα μιας ουσίας
- Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με φλόγα Ar



44  
30/1/2013

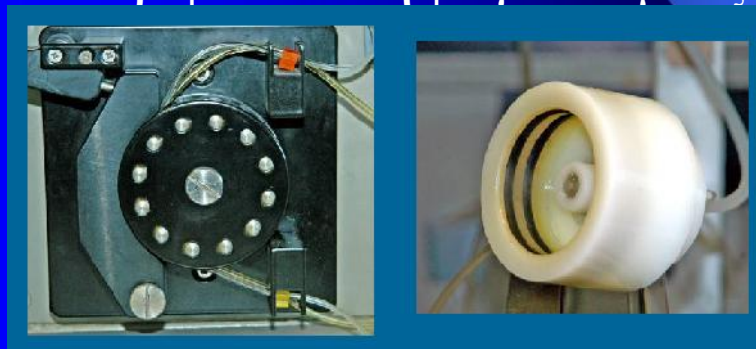
## Προετοιμασία δείγματος

- Το δείγμα εισάγεται με τη μορφή διαλύματος
- Απαιτείται προηγουμένως η διάσπαση του πετρώματος με μίγμα ισχυρών οξέων (HCl, HF και HNO<sub>3</sub>)

45  
30/1/2013

## Προετοιμασία δείγματος

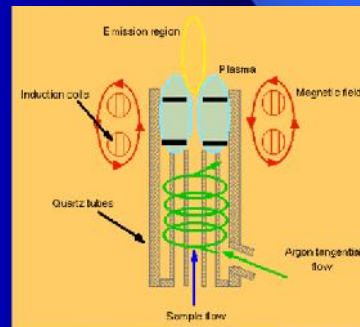
- Το διάλυμα αυτό εισάγεται με περισταλτική αντλία σε έναν εκνεφωτή και τροφοδοτείται η φλόγα πλάσματος



46  
30/1/2013

## Τμήματα της συσκευής

- Ο φακός πλάσματος αποτελείται από συγκεντρικούς σωλήνες από χαλαζία
- Ο κεντρικός σωλήνας διοχετεύει το εκνεφωμένο δείγμα
- Οι περιφερειακοί διοχετεύουν αέριο Ar

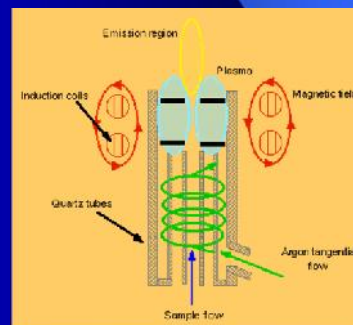


47

30/1/2013

## Τμήματα της συσκευής

- Γύρω από αυτούς υπάρχουν επαγωγικά πηνία RF
- Αυτά δημιουργούν εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο



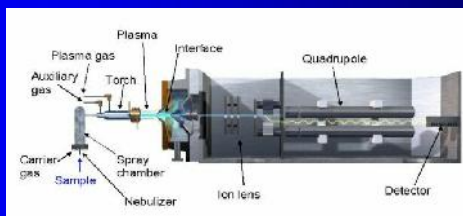
48

30/1/2013



## Τμήματα της συσκευής

- Αυτό με τη σειρά του προκαλεί κρούσεις στα άτομα του Ar έτσι ώστε τελικά να παραχθεί πλάσμα υψηλής θερμοκρασίας
- Τα άτομα του εκνεφωμένου δείγματος, (αερόλυμα) με την είσοδο τους στο χώρο του πλάσματος ιονίζονται και αυτά



49  
30/1/2013

## ICP-AES ή ICP-OES

- Μετά το σχηματισμό ιόντων, τα διεγερμένα/ιονισμένα άτομα αποδιεγείρονται, προς τη θεμελιώδη τους κατάσταση, εκπέμποντας ακτινοβολία
- Το κάθε ισότοπο έχει χαρακτηριστικές ενεργειακές στάθμες και έτσι τα φωτόνια που εκπέμπει έχουν διαφορετικές και χαρακτηριστικές συχνότητες

50  
30/1/2013

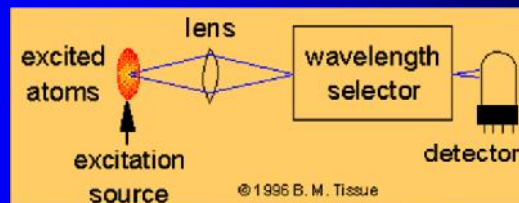
## ICP-AES ή ICP-OES

- Ένας ανιχνευτής ανιχνεύει αυτές δίδοντας τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά φάσματα για τα συγκεκριμένα στοιχεία
- Επίσης υπολογίζεται η ένταση της ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να γίνεται και ο ποσοτικός προσδιορισμός

51  
30/1/2013

## ICP-AES ή ICP-OES

- Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι οι αποδιεγέρσεις όλων των στοιχείων γίνεται ταυτόχρονα, επομένως μπορούμε να προσδιορίζουμε ταυτόχρονα όλα τα στοιχεία που συμμετέχουν στο δείγμα



52  
30/1/2013

## ICP-MS

- Αποτελείται από δυο ξεχωριστές συσκευές
- Το σύστημα παραγωγής πλάσματος (ICP)
- Το φασματομέτρο μάζας (MS)



53  
30/1/2013

## ICP-MS

- Μπορεί και αναλύει ταυτόχρονα τα περισσότερα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα καθώς και ισότοπα σε περιεκτικότητες έως και ppt

54  
30/1/2013

## ICP-MS

- Αφού δημιουργηθούν τα ιόντα, οδηγούνται μέσα στον τετραπολικό αναλυτή
- Αποτελείται από τέσσερα μεταλλικά ατσάλινα ηλεκτρόδια, στα οποία εφαρμόζεται συνδυασμός μαγνητικού πεδίου RF και ρεύματος DC



55  
1/2013

## ICP-MS

- Αυτός ο συνδυασμός διαχωρίζει τα ιόντα με βάση το λόγο φορτίου προς μάζα  $m/z$
- Εφόσον τα πιο πολλά ιόντα είναι μονοατομικά χρησιμοποιείται για απλούστευση ο όρος μάζα
- Τέλος, ένας ανιχνευτής προσδιορίζει τα ιόντα που περνούν από το τετράπολο, παράγοντας ένα εξομαλυμένο σήμα, που αποστέλλεται στον υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων

56  
30/1/2013

## Φασματοσκοπία Mössbauer

57  
30/1/2013

## Φαινόμενο Mössbauer

- Κατά την εκπομπή φωτονίων από ένα ελεύθερο πυρήνα, υπάρχει ανάκρουση
- Η ορμή και η ενέργεια λαμβάνονται από τον πυρήνα αυτό
- Στην περίπτωση κρυσταλλικού στερεού έχουμε την παραγωγή φωνονίων που μεταδίδουν ορμή και ενέργεια στο πλέγμα

58  
30/1/2013

## Φαινόμενο Mössbauer

- Το φαινόμενο Mössbauer, είναι η εκπομπή ακτινοβολίας  $\gamma$ , χωρίς ανάκρουση, από στερεά ραδιενεργά υλικά
- Αφού αυτή η εκπομπή ακτινοβολίας  $\gamma$ , είναι χωρίς ανάκρουση, μπορεί επακόλουθα να απορροφηθεί σε συντονισμό, από άλλο στατικό άτομο του ίδιου στοιχείου

59  
30/1/2013

## Φαινόμενο Mössbauer

- Το φαινόμενο αυτό ανακαλύφθηκε από τον Mössbauer το 1958 (βραβείο Nobel φυσικής 1961), ο οποίος παρατήρησε την εξάρτηση της ενέργειας των απορροφούμενων ακτίνων  $\gamma$  με τη θερμοκρασία από τον πυρήνα του  $^{191}\text{Ir}$

60  
30/1/2013

## Φαινόμενο Mössbauer

- Κατά την εκπομπή ακτίνων  $\gamma$  από τον πυρήνα, χωρίς ανάκρουση, δεν υπάρχει αλλαγή στη συνολική ορμή του
- Η ενέργεια του φωτονίου από την πηγή πρέπει να είναι ακριβώς ίδια με την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται ο πυρήνας που το απορροφά, προκειμένου να διεγερθεί σε ανώτερη στάθμη

61  
30/1/2013

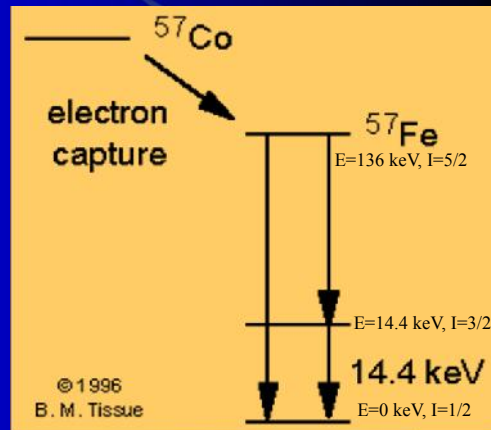
## Φαινόμενο Mössbauer

- Η φασματοσκοπία Mössbauer είναι μια ευαίσθητη μέθοδος στο να αναγνωρίζει τα διαφορετικά περιβάλλοντα που καταλαμβάνει το άτομο σε ένα στερεό υλικό

62  
30/1/2013

## Παραγωγή ακτίνων γ

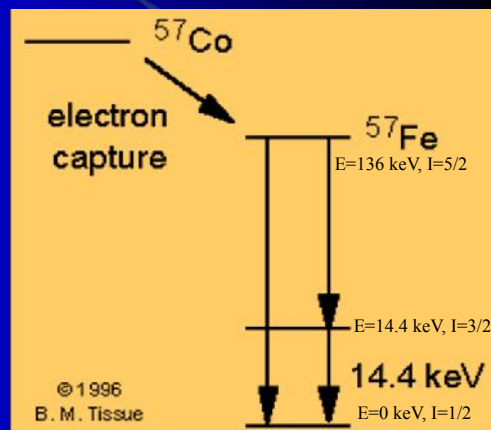
- Για την παραγωγή ακτίνων γ, π.χ. για φασματοσκοπία Mössbauer  $^{57}\text{Fe}$ , απαιτείται μητρικός πυρήνας  $^{57}\text{Co}$ , ο οποίος διασπάται ραδιενεργά στο θυγατρικό  $^{57}\text{Fe}$



63  
30/1/2013

## Παραγωγή ακτίνων γ

- Ο θυγατρικός πυρήνας  $^{57}\text{Fe}$ , βρίσκεται αρχικά στη διεγερμένη κατάσταση  $I=5/2$  και αποδιεγείρεται

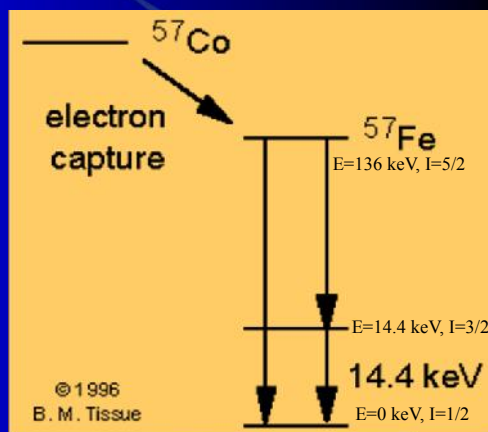


64  
30/1/2013



## Παραγωγή ακτίνων γ

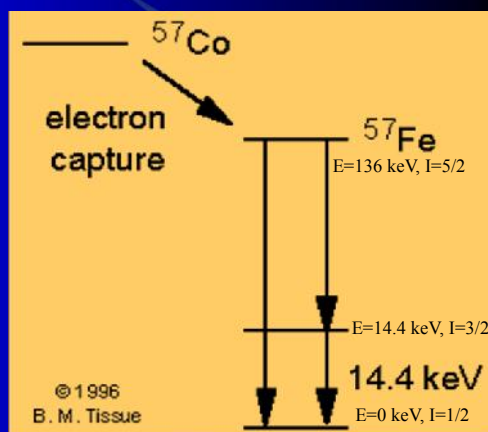
- Ένα ποσοστό από την ποσότητα των πυρήνων αποδιεγείρεται στην ενδιάμεση μετασταθή στάθμη  $I=3/2$



65  
30/1/2013

## Παραγωγή ακτίνων γ

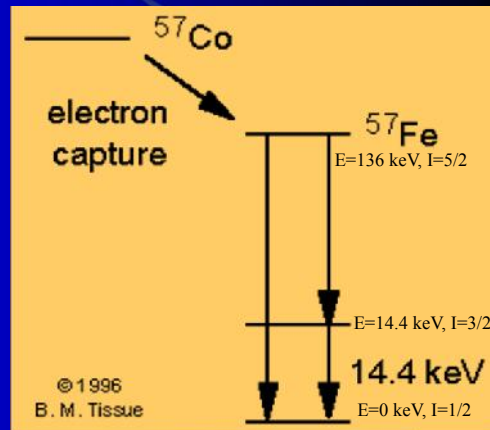
- Περίπου το 10% των πυρήνων αποδιεγείρεται από αυτήν στη θεμελιώδη κατάσταση
- Έτσι παράγεται ακτινοβολία γ ενέργειας 14.4 keV



66  
30/1/2013

## Παραγωγή ακτίνων $\gamma$

- Αυτά τα φωτόνια  $\gamma$  μπορούν στη συνέχεια να απορροφηθούν από άλλο πυρήνα  $^{57}\text{Fe}$ , σε ένα δείγμα



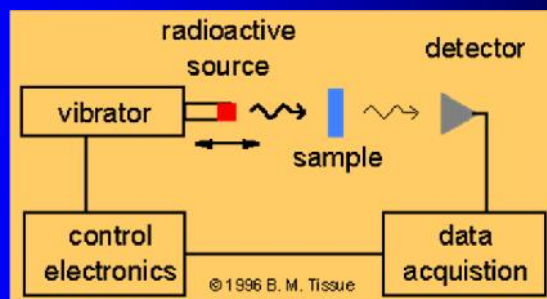
67  
30/1/2013

## Παραγωγή ακτίνων $\gamma$

- Ο χρόνος ημίσειας ζωής του  $^{57}\text{Co}$  είναι  $\approx 200$  ημέρες
- Ο πυρήνας  $^{57}\text{Fe}$  αρχίζει να αποδιεγείρεται προς την κατάσταση  $I=3/2$  μετά από περίπου  $10^{-7} \text{ s}$ , εκπέμποντας ακτινοβολία  $\gamma$ , ενέργειας  $123 \text{ keV}$

68  
30/1/2013

## Συσκευή Mössbauer



- Η πηγή ακτίνων  $\gamma$  είναι ένα ραδιενεργό στοιχείο, το οποίο ταλαντώνεται μπρος και πίσω, προκειμένου να προκαλέσει φαινόμενο Doppler στην ενέργεια (και συχνότητα) της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας  $\gamma$

69  
30/1/2013

## Ενέργεια μεταβαλλόμενη από το φαινόμενο Doppler

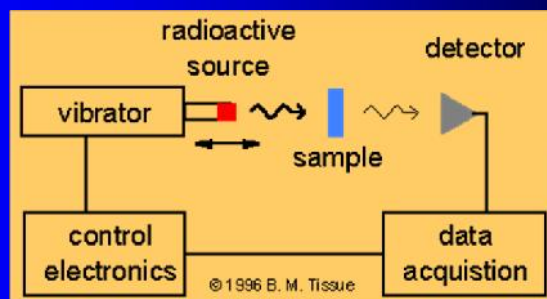
- Δίδεται από τη σχέση:

$$E = E_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

- $E_0$ : η εκπεμπόμενη ενέργεια
- $v$ : η ταχύτητα της συσκευής
- $c$ : η ταχύτητα του φωτός

70  
30/1/2013

## Συσκευή Mössbauer



- Καθώς η ενέργεια των ακτίνων  $\gamma$  σαρώνεται από τη μετατόπιση Doppler, ο ανιχνευτής καταγράφει τις διάφορες συχνότητες των ακτίνων  $\gamma$  που απορροφώνται από το δείγμα

71  
30/1/2013

## Συσκευή Mössbauer

- Στις συνήθεις συσκευές, η ενέργεια των φωτονίων της πηγής κυμαίνεται λόγω φαινομένου Doppler σε περιορισμένη κλίμακα (μερικές δεκάδες neV)
- Η πηγή επιταχύνεται και επιβραδύνεται επαναλαμβανόμενα σε ένα φάσμα ταχυτήτων από λίγα mm/s έως μερικές εκατοντάδες mm/s
- Έτσι προσθέτει ή αφαιρεί ενέργεια από τα εκπεμπόμενα φωτόνια

72  
30/1/2013

## Συσκευή Mössbauer

- Όταν υπάρξει συντονισμός (ταίριασμα) της ενέργειας των εκπεμπόμενων φωτονίων και της διαφοράς ενεργειακών σταθμών στον πυρήνα απορρόφησης, τότε πραγματοποιείται η απορρόφηση
- Στη συνέχεια τα φωτόνια που απορροφήθηκαν εκπέμπονται από το δείγμα

73  
30/1/2013

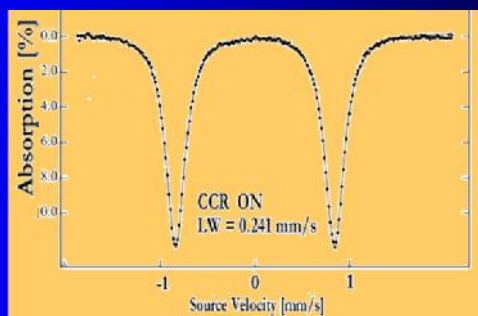
## Συσκευή Mössbauer

- Αυτά εκπέμπονται σε όλες τις διευθύνσεις (σε αντίθεση με τα προσανατολισμένα φωτόνια από την πηγή, λόγω κίνησης) υπάρχει μείωση στην ένταση του σήματος στις ενέργειες (δηλαδή ταχύτητες) εκείνες όπου πραγματοποιείται συντονισμένη απορρόφηση σχηματίζοντας το φάσμα Mössbauer

74  
30/1/2013

## Φάσματα Mössbauer

- Τα φάσματα Mössbauer δίδουν το ποσοστό απορρόφησης της ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα της πηγής



75  
30/1/2013

## Εφαρμογές της φασματοσκοπίας Mössbauer

- Αν και πάνω από τα μισά στοιχεία του Περιοδικού Πινάκα έχουν ισότοπα, τα οποία εμφανίζουν το φαινόμενο Mössbauer, η πιο κοινή χρήση γίνεται με το ισότοπο  $^{57}\text{Fe}$
- Τελευταία έχουν εξελιχθεί αρκετά οι μέθοδοι για τη μελέτη και των ισότοπων του  $^{119}\text{Sn}$  και του  $^{151}\text{Eu}$

76  
30/1/2013

## Εφαρμογές της φασματοσκοπίας Mössbauer

- Οι λόγοι για τους οποίους η κύρια εφαρμογή γίνεται με το ισότοπο  $^{57}\text{Fe}$  είναι :
  - Το ποσοστό της ενέργειας των 14.41 keV (μετάβαση από  $I = 3/2$  σε  $I = 1/2$ ) που σχετίζεται με την απορρόφηση ακτίνων  $\gamma$  με ανάκρουση, είναι μικρό
  - Δίδει στενά και ευδιάκριτα φάσματα
  - Υπάρχει σχετικά μεγάλη αφθονία του ισότοπου αυτού στη φύση (2,14%)

77  
30/1/2013

## Εφαρμογές της φασματοσκοπίας Mössbauer

- Το κυριότερο πλεονέκτημα της φασματοσκοπίας Mössbauer είναι ότι είναι εξειδικευμένη τεχνική για το Fe, πιο ευαίσθητη από την περιθλασιμετρία ακτίνων X
- Μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και όταν οι περιεκτικότητες σε Fe είναι της τάξης του 0,5 wt. %

78  
30/1/2013

## Εφαρμογές της φασματοσκοπίας Mössbauer

- Παρέχει πληροφορίες για:
  - τον αριθμό οξείδωσης
  - τον αριθμό συνδιάταξης
  - την ένταση του πεδίου του κρυστάλλου (δηλ. spin πάνω ή spin κάτω του FeIII)

79  
30/1/2013

## Εφαρμογές της φασματοσκοπίας Mössbauer

- Σε αντίθεση με την XRD, μπορεί να δώσει πληροφορίες σε μη καλά κρυσταλλικά ή και άμορφα υλικά
- Τα κοινά οξείδια Fe, όπως ο μαγνητίτης, ο γκαιτίτης και ο αιματίτης είναι αμέσως διακριτά μεταξύ τους στα φυλλοπυριτικά ορυκτά ή σε Fe-ούχες ενώσεις

80  
30/1/2013