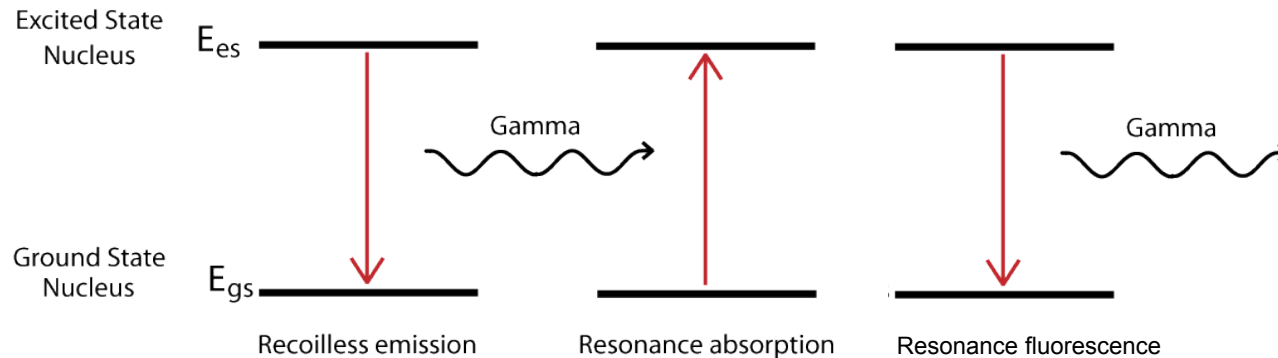


γ - διάσπαση

Δήμος Σαμψωνίδης
(5-12-2018)

Στοιχεία Πυρηνικής Φυσικής & Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων
5 ο Εξάμηνο

Πυρηνικός συντονισμός



Φωτόνιο απο αποδιέγερση γ απορροφάται από όμοιο πυρήνα (απορρόφηση συντονισμού), ο οποίος στη συνέχεια αποδιεγείρεται επανεκπέμποντας φωτόνιο (φθορισμός συντονισμού) (1929 Kuhn) .

Πολλές προσπάθειες αποδείχθηκαν άκαρπες (-1951).

Ενεργειακά

Σε μια γ-μετάπτωση από μια αρχική διεγερμένη ενεργειακή στάθμη E_i σε μια τελική E_f , η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου καθορίζεται από τη διατήρηση της ενέργειας και της ορμής,

$$E_i = E_f + E_x.$$

Η ενέργεια της μετάπτωσης E_x μοιράζεται μεταξύ του φωτονίου γ και της ενέργειας ανάκρουσης του τελικού πυρήνα,

$$E_x = E_\gamma + E_R.$$

Διατήρηση ορμής :

$$p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c} = \frac{h\nu}{c} = Mv$$

$$E^2 = p^2 c^2 + (mc^2)^2$$

Διατήρηση ενέργεια:

$$T = E_\gamma + E_R = h\nu + \frac{1}{2} Mv^2 = h\nu + \frac{1}{2M} \left(\frac{h\nu}{c} \right)^2 = h\nu + \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2}$$

Ενέργεια ανακρουόμενου:

$$E_R = \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2} \ll E_\gamma$$

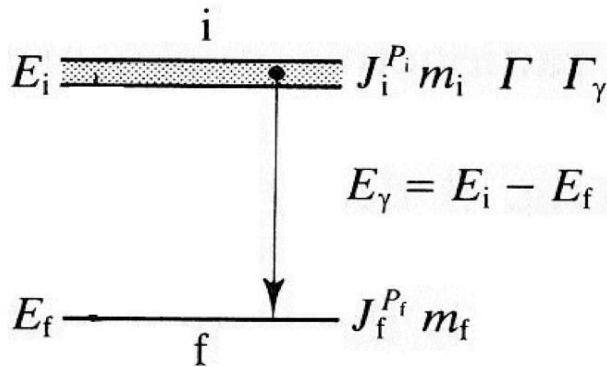
π.χ. $A=50$, $E_\gamma = 2 \text{ MeV}$, $E_R \approx 4 \times 10^{12} / 2 \times 50 \times 10^9 \approx 40 \text{ eV}$ ($\ll 2 \times 10^6 \text{ eV}$)

Η ενέργεια της μετάπτωσης απάγεται από το φωτόνιο

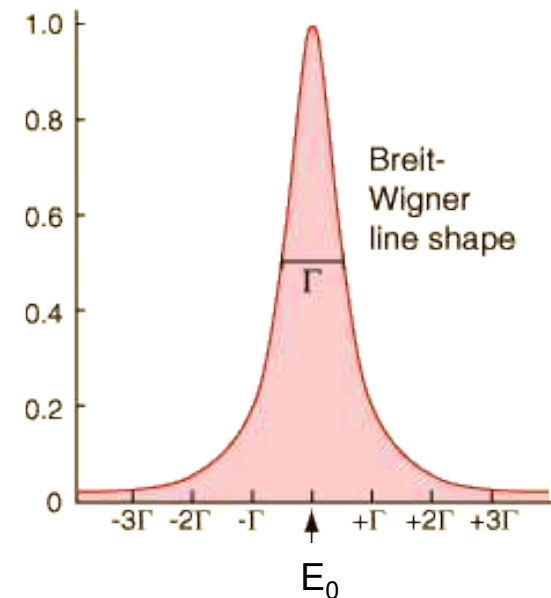
Ενεργειακές στάθμες του πυρήνα

Κάθε διεγερμένη ενεργειακή στάθμη έχει ένα “φυσικό” πλάτος Γ όπως και κάθε κβαντική κατάσταση και ένα μέσο χρόνο ζωής τ , που σχετίζονται μέσω της αρχής της απροσδιοριστίας: $\Delta E^* \Delta t \approx \hbar \rightarrow \Gamma^* \tau \approx \hbar$

$$\Gamma = \hbar \lambda = \frac{\hbar}{\tau} = \frac{6.58 \times 10^{-22} \text{ MeV sec}}{\tau}$$



$$\tau \sim 10^{-12} \dots 10^9 \text{ s}$$



Πυρηνικός συντονισμός

Ανάκρουση πυρήνα

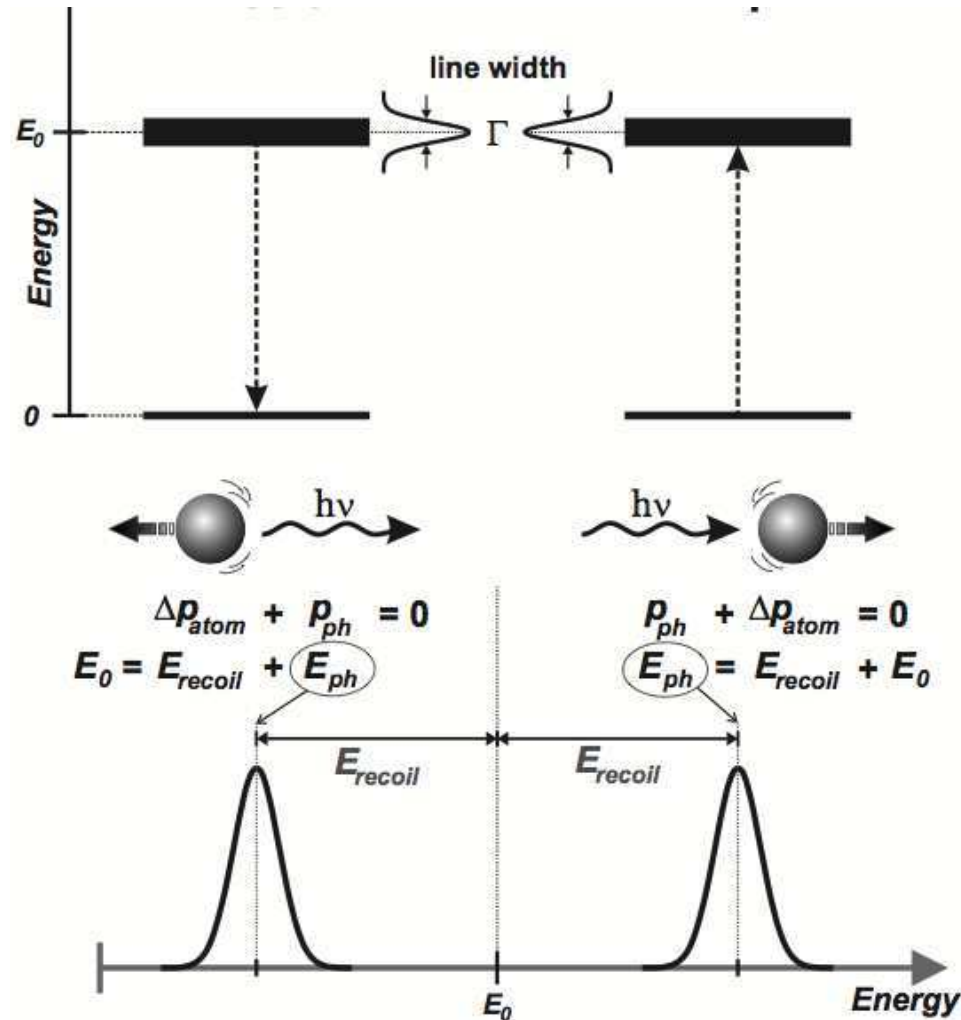
- κατά την εκπομπή : $E_\gamma = E_0 - E_R$
- κατά την απορρόφηση : $E_\gamma = E_0 + E_R$

πλάτος της στάθμης

$$\tau \Gamma \approx \hbar$$

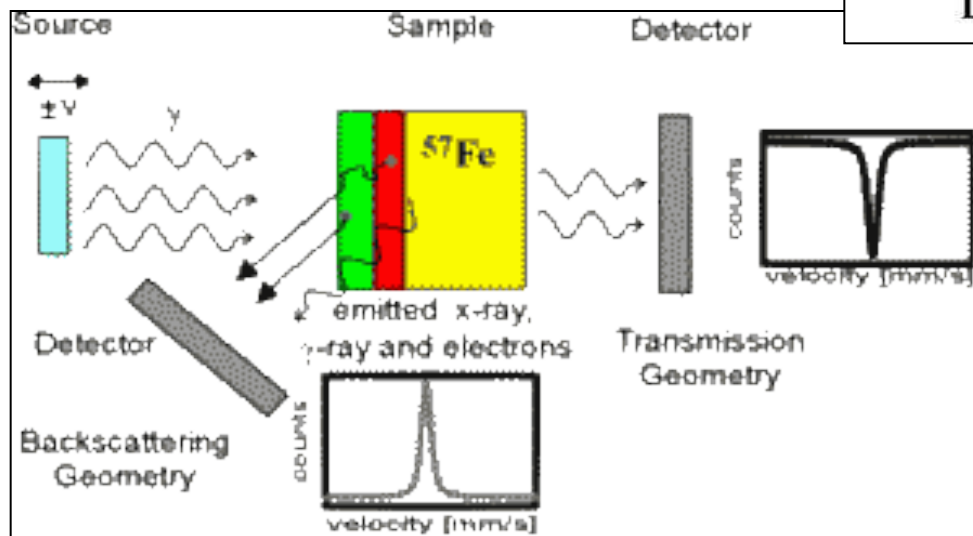
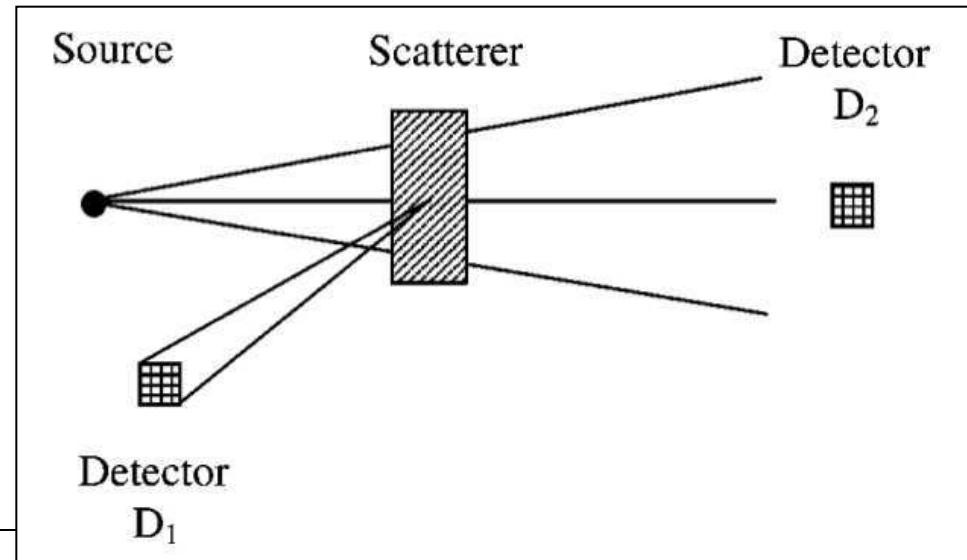
$$E_R \sim E_{ph}^2 / 2mc^2$$

Φαινόμενο Doppler $E_D = \frac{v_n}{c} E_\gamma$



Πυρηνικός συντονισμός

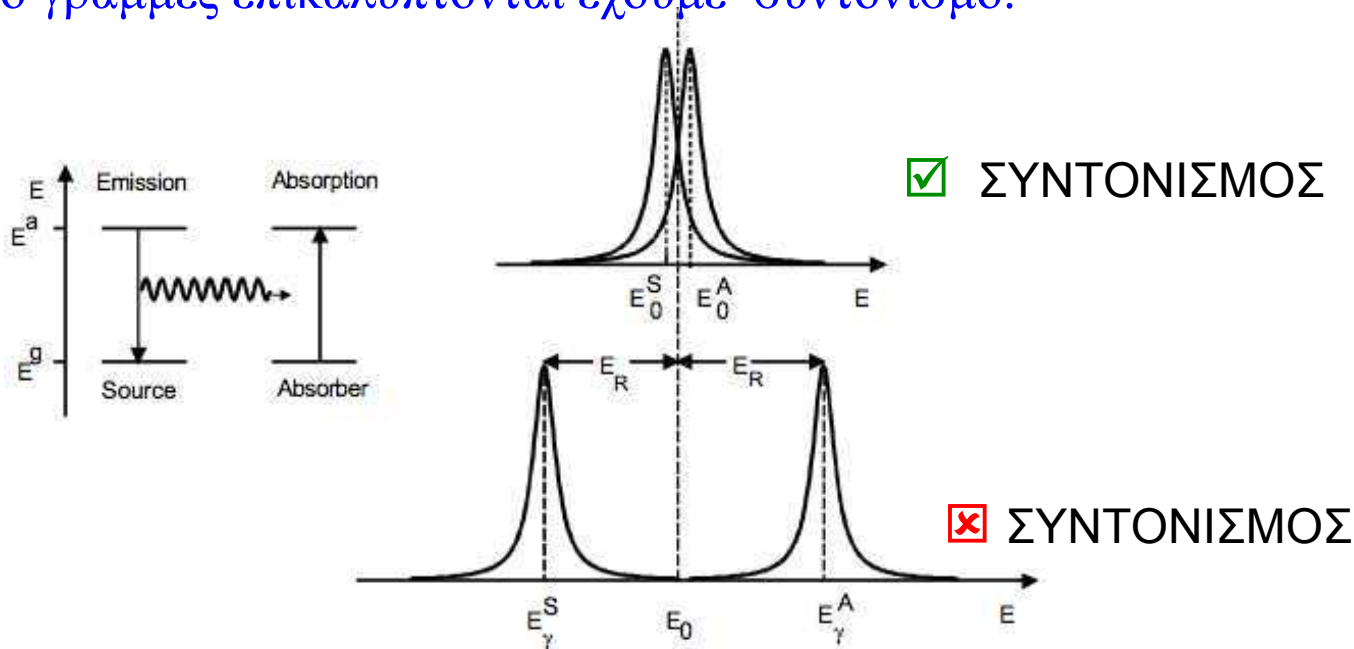
*Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση
φθορισμό συντονισμού ή/και
απορρόφηση συντονισμού*



Πυρηνικός συντονισμός

Γιατί δεν παρατηρείτε ο πυρηνικός συντονισμός ??

Διότι η γραμμή εκπομπής δεν επικαλύπτεται με τη γραμμή απορρόφησης
Αν οι δύο γραμμές επικαλύπτονται έχουμε συντονισμό.



Μπορεί να ξεπεραστεί το πρόβλημα με 2 τρόπους,

1. Μειώνοντας την ενεργειακή διαφορά των δύο γραμμών (πείραμα Moon).

2. Διευρύνοντας το πλάτος των γραμμών ώστε να αλληλεπικαλυφθούν (πείραμα Malmfors, με θερμική κίνηση) .

Πείραμα Moon

1950s, Philip Moon in Birmingham

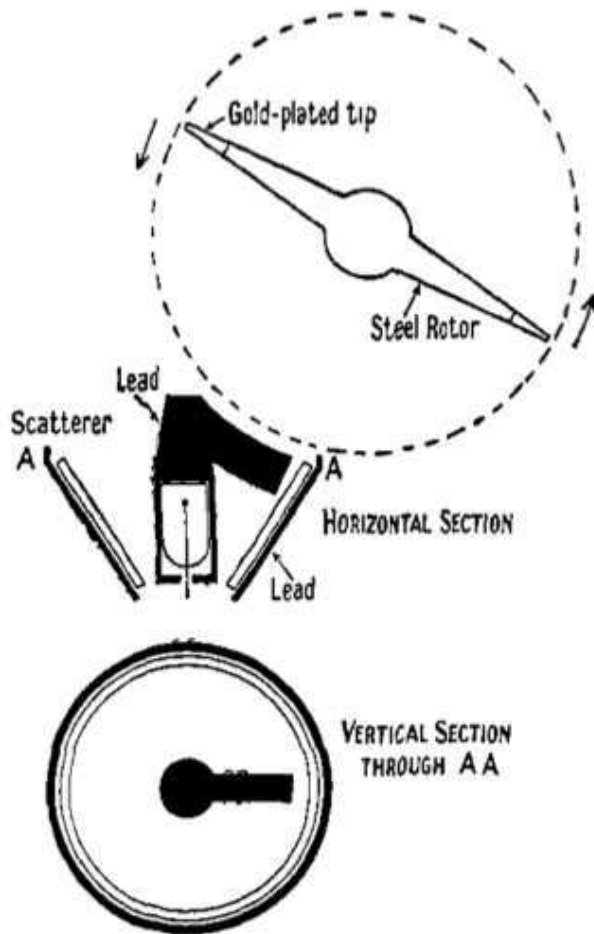


Figure 1. (Not to scale)

Χρησιμοποίησε το φαινόμενο Doppler για να αντισταθμίσει το έλλειμα ενέργειας μεταξύ πηγής και σκεδαστή προσθέτοντας ενέργεια :

$$E_D = \frac{v_n}{c} E_\gamma$$

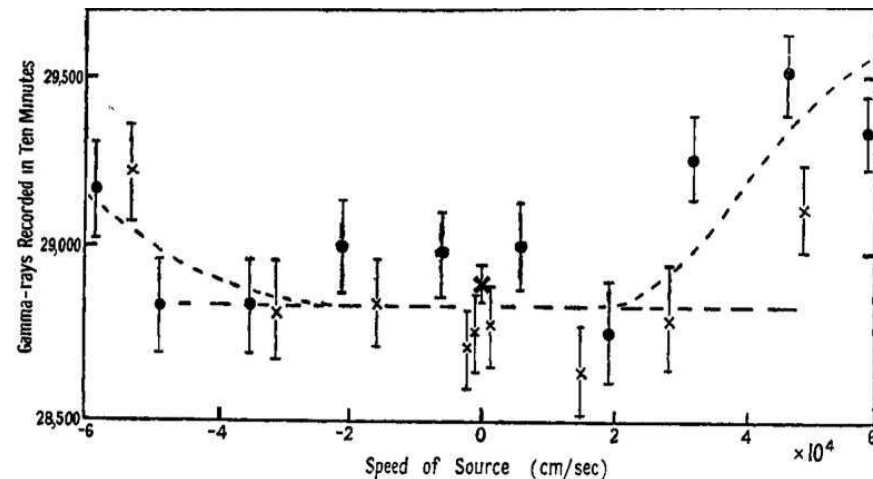


Figure 2. Effect of speed of source on rate of recording of scattered gamma-rays. Negative speeds indicate rotation in opposite sense to that shown in Figure 1.

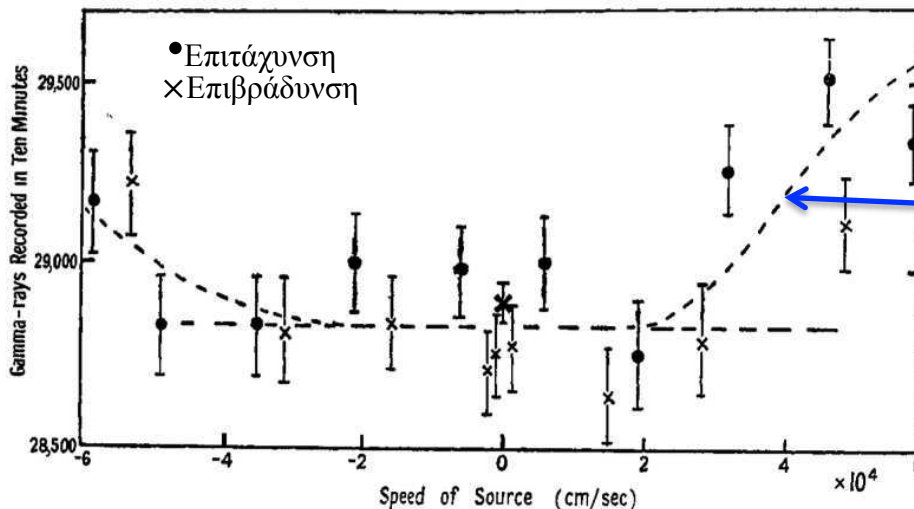
Κατέγραψε μικρή αύξηση στην ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Πείραμα Moon

Πηγή ^{198}Au (β) $\rightarrow$ ^{198}Hg
 ^{198}Hg γ - 411 keV
Σκεδαστής Hg

Επιλογή ισοτόπου

- Σε φυσική αυθονία για σκεδαστής
- Να έχει διεγερμένες καταστάσεις για να χρησιμοποιηθεί ως πηγή γ .
- Αποδιέγερση στη βασική στάθμη
- Μεγάλο εύρος Γ (5×10^{-6} eV, $\tau = 8 \times 10^{-11}$ s).
- Απαιτούμενη ταχύτητα 32E/A μέχρι 5 cm/s (εφικτή τεχνολογικά)

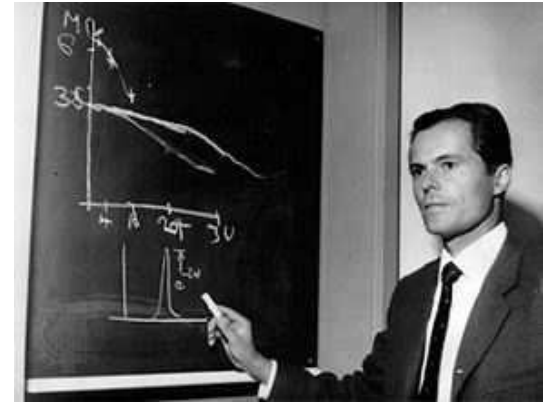


Κατέγραψε μικρή αύξηση στην ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

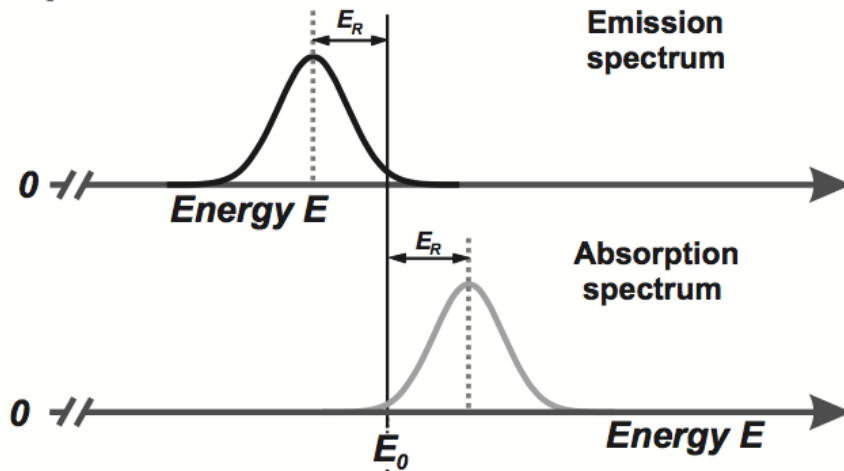
Figure 2. Effect of speed of source on rate of recording of scattered gamma-rays. Negative speeds indicate rotation in opposite sense to that shown in Figure 1.

Rudolf L. Mössbauer

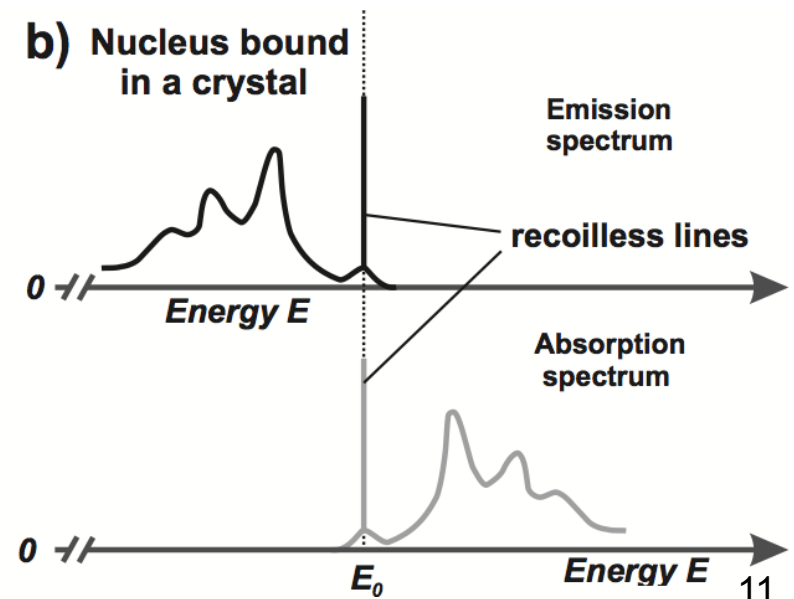
Ο Mössbauer ανακάλυψε ότι σε **χαμηλές θερμοκρασίες**, όταν ένας πυρήνας που βρίσκεται στο πλέγμα ενός κρυστάλλου και εκπέμπει ένα γ-φωτόνιο, η ενέργεια ανάκρουσης γίνεται ελάχιστη και σε κάποιες περιπτώσεις ο κρύσταλλος δεν μπορεί να απορροφήσει ενέργεια και άρα η ενέργεια ανάκρουσης μηδενίζεται.



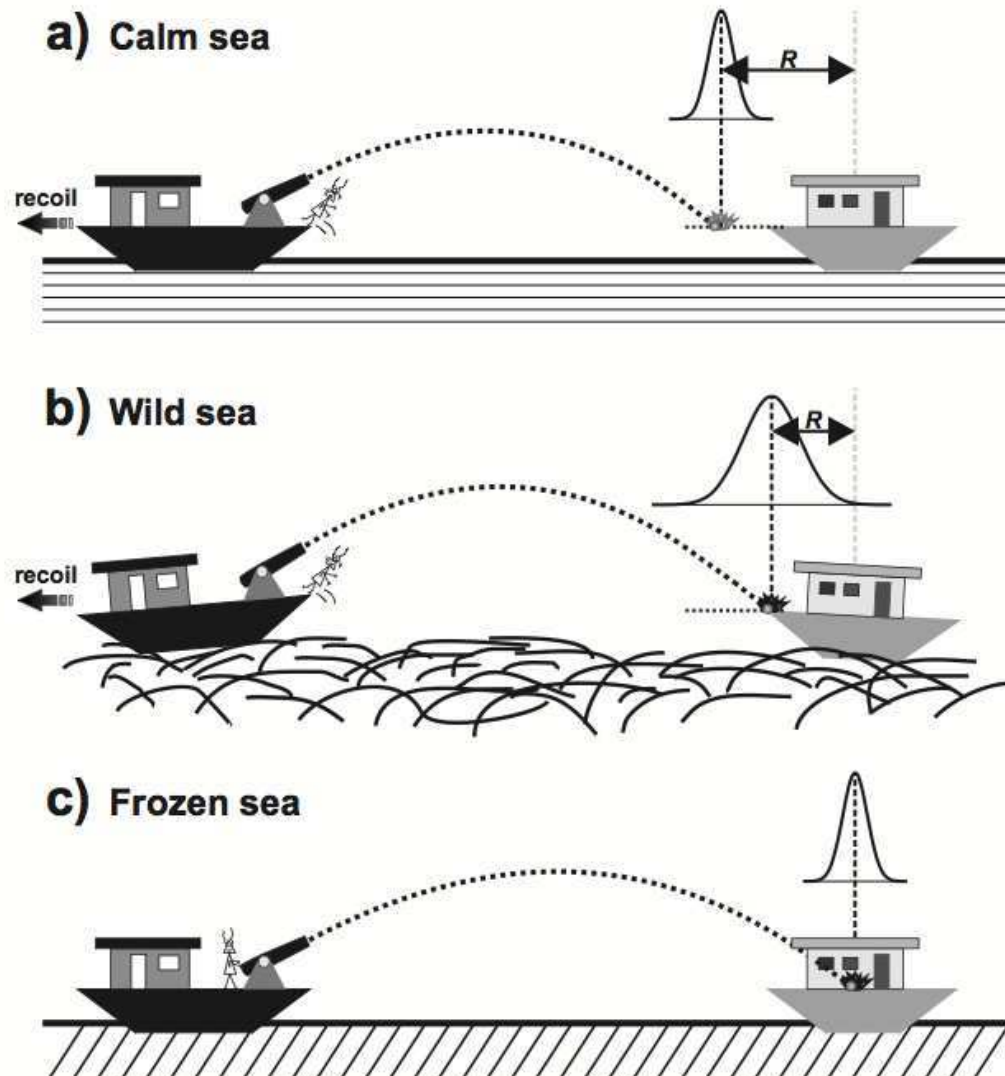
a) Freely recoiling nucleus



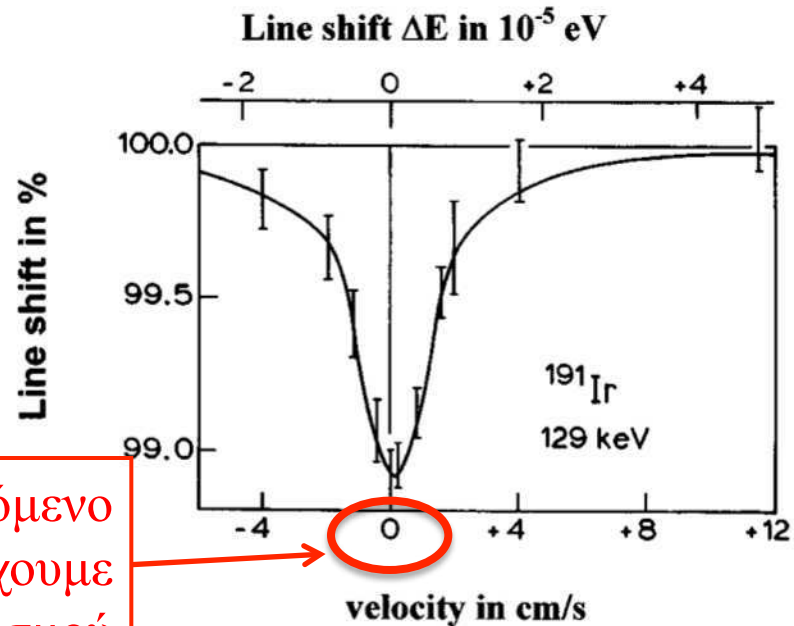
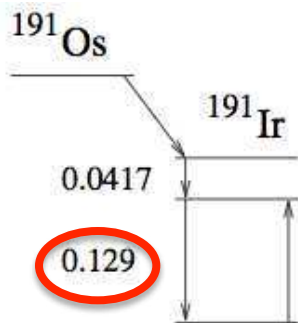
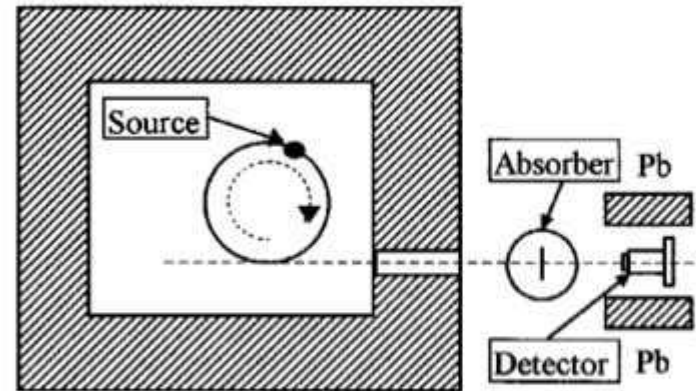
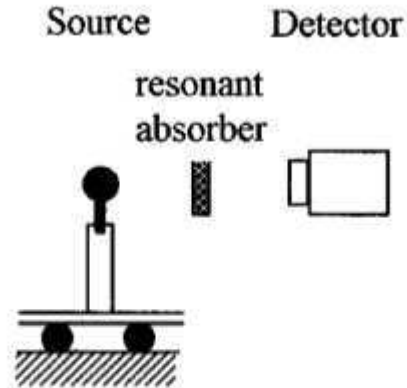
b) Nucleus bound in a crystal



Φαινόμενο Mössbauer



Φαινόμενο Mössbauer



Δεν χρειάζεται το φαινόμενο
Doppler για να έχουμε
απορρόφηση συντονισμού

Φαινόμενο Mössbauer

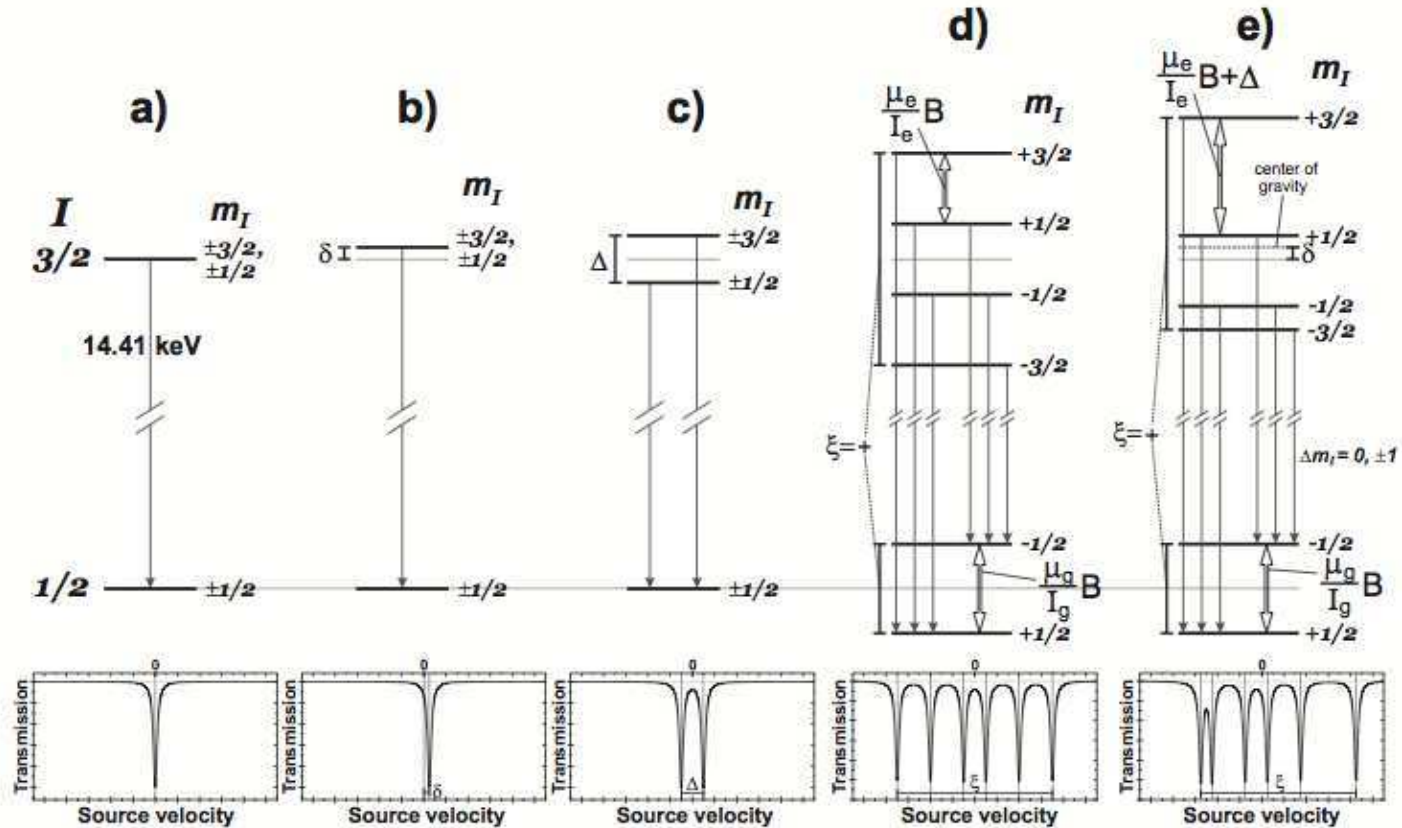
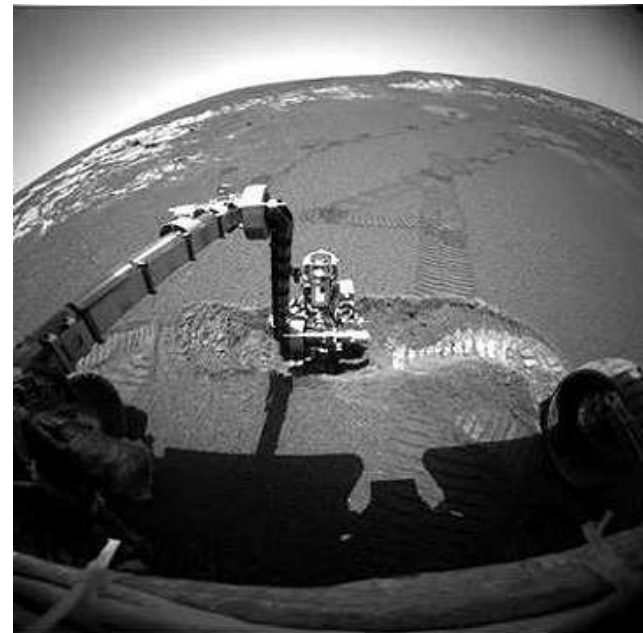
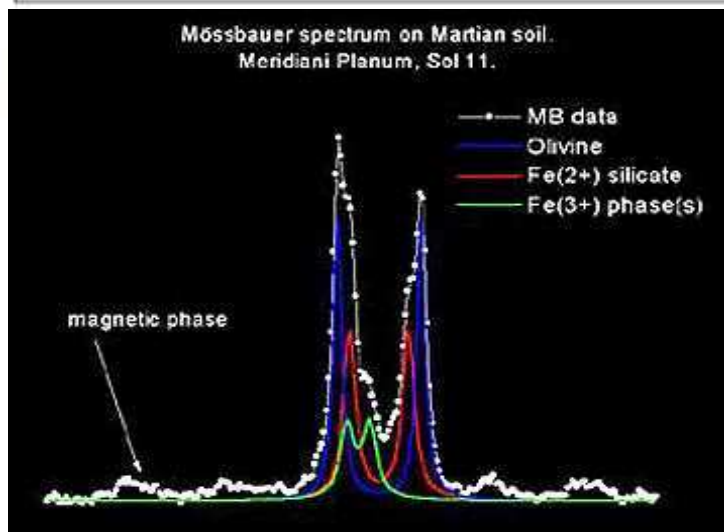
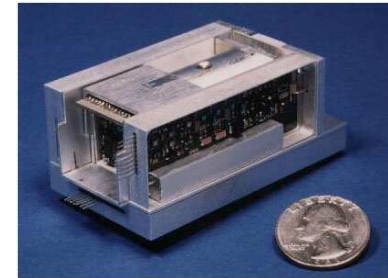


Figure 6.6: Nuclear energy level splittings (top) and corresponding Mössbauer spectra (bottom) for ^{57}Fe in case of: **a)** an isolated nucleus, **b)** only an electric monopole interaction, **c)** only a quadrupole interaction, **d)** only a magnetic dipole interaction and **e)** all interactions combined (see text). The splittings and spectra are sketched based on the hypothetical but illustrative case where $\delta : \Delta : \mu_e B / I_e : \mu_g B / I_g = 1 : 4 : 6 : 10$ (resulting in $\xi = 28$). The transitions between the levels are restricted by the dipole selection rule $\Delta m_I = 0, \pm 1$ in all cases. For clarity and simplicity, all level schemes are drawn with the center of gravity of their nuclear ground state aligned and all transition lines are approximated by lorentzian lineshapes of equal width and intensity.

Φαινόμενο Mössbauer

- Nuclear and Solid State Physics
- Biology
- Chemistry
- Materials Science
- Geology
- Archeology
- Forensic Science
- Paleontology
- Mineralogy
- Metallurgy
- Space Science (on Mars Exploration Rovers)



Αλληλεπίδραση γ - ύλης

