

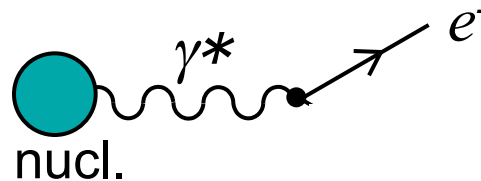
γ - διάσπαση

Δήμος Σαμψωνίδης
(6-12-2016)

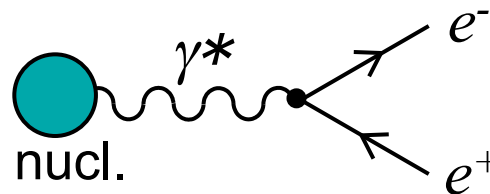
Στοιχεία Πυρηνικής Φυσικής & Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων
5 ο Εξάμηνο

γ - διάσπαση

- Τι γίνεται όταν ένας πυρήνας με $J=0$ χρειάζεται να αποδιεγερθεί;
- ΔΕΝ μπορεί μέσω εκπομπής γ
 - Μπορεί να κάνει εσωτερική μετατροπή (α'la Auger στο άτομο)



- Θα μπορούσε μέσω δημιουργίας ζεύγους αν $E > 2m_e$
(virtual γ δεν είναι απαραίτητο να έχει $S=1$ και μετατρέπεται σε ζεύγος σε μια $J=0$ κατάσταση)



Εσωτερικές Μετατροπές

0-→0 απαγορευμένη

Τι γίνεται σε μια 0⁺ διεγερμένη

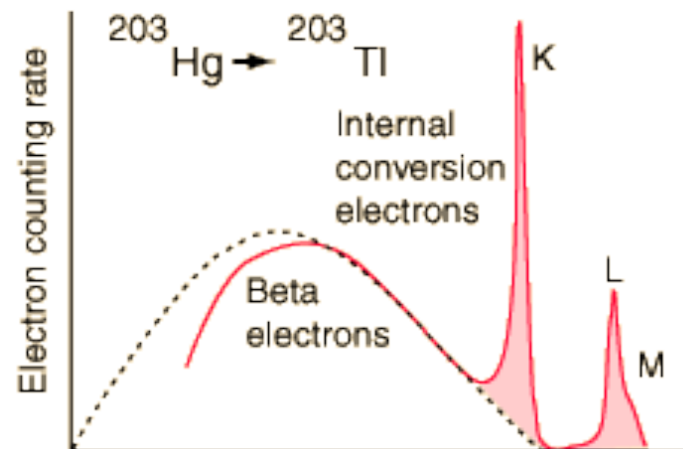
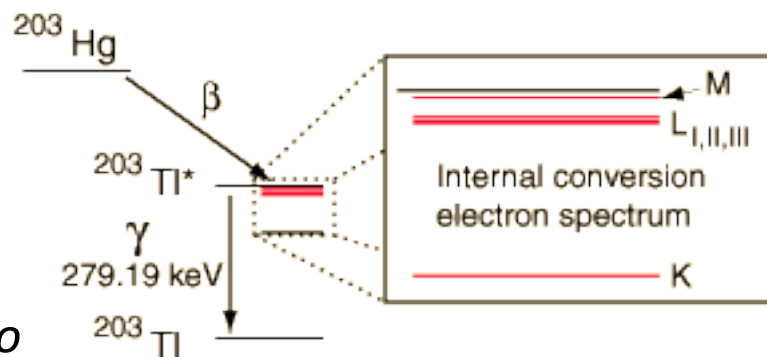
Διασπάται με

•Εσωτερική μετατροπή

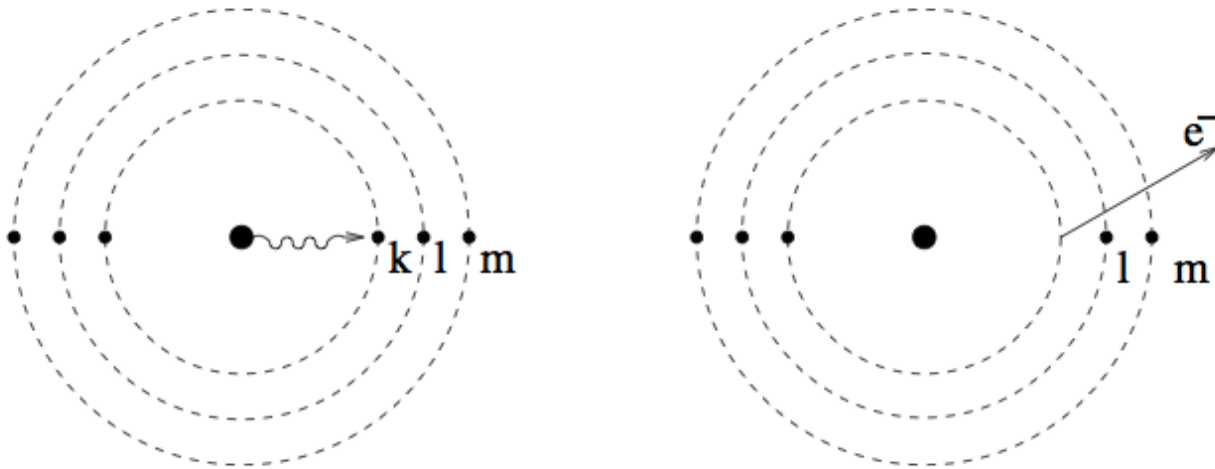
Ο πυρήνας εκπέμπει ένα δυνητικό φωτόνιο το οποίο διώχνει ένα ατομικό ηλεκτρόνιο. Η τροχιά του e περνάει μέσα από τον πυρήνα. Πιθανότητα να βρεθεί στον πυρήνα αυξάνει με τη Z^3 . Για $Z \gg$ ανταγωνίζεται τις γ διασπάσεις.

•Εσωτερική μετατροπή ζεύγους e^+e^- .

Ο πυρήνας εκπέμπει ένα δυνητικό φωτόνιο το οποίο διώχνει μετατρέπεται σε ζεύγος e^+e^- .



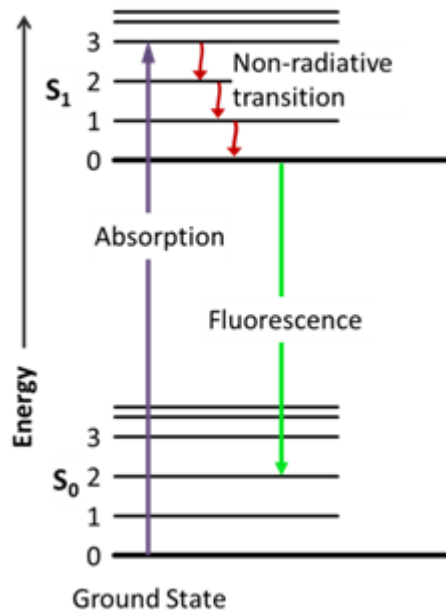
Εσωτερικές Μετατροπές



Προσοχή:

Δεν μπορεί να είναι Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο λόγω διατήρησης της στροφορμής.

Φθορισμός (απο την Ατομική Φυσική)

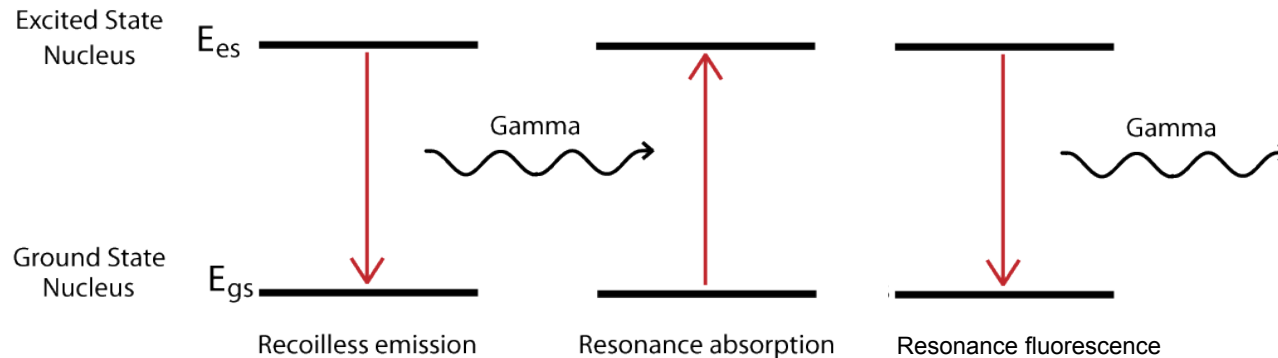


Φθορισμός συντονισμού

Φθορισμός συντονισμού ή απορρόφηση συντονισμού καλείται το φαινόμενο όπου ένα αέριο-στόχος διεγείρεται από μία φωτεινή πηγή η οποία αποτελείται από ένα ίδιο υπέρθερμο αέριο.

Ατμοί Hg φθορίζουν όταν ακτινοβολούνται με το φως μιάς λυχνίας Hg.

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).

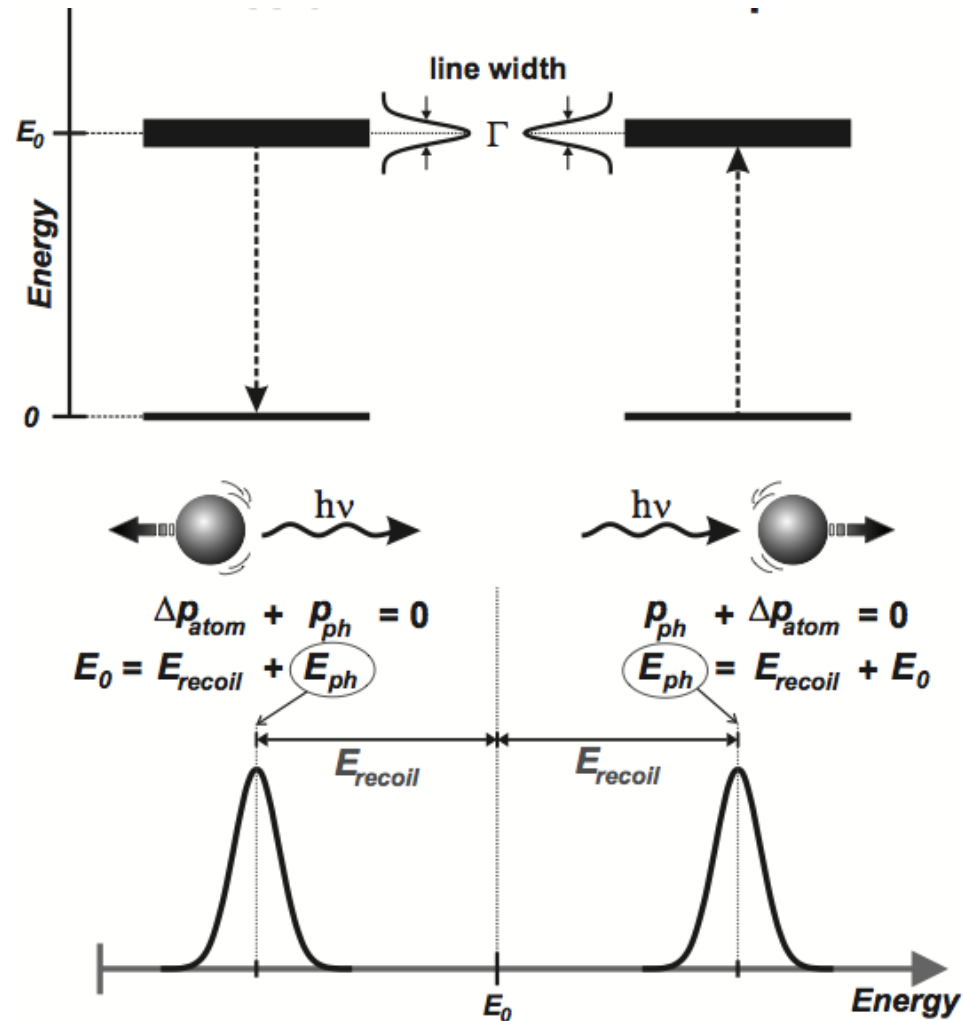
Πυρηνικός συντονισμός

Ανάκρουση πυρήνα

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

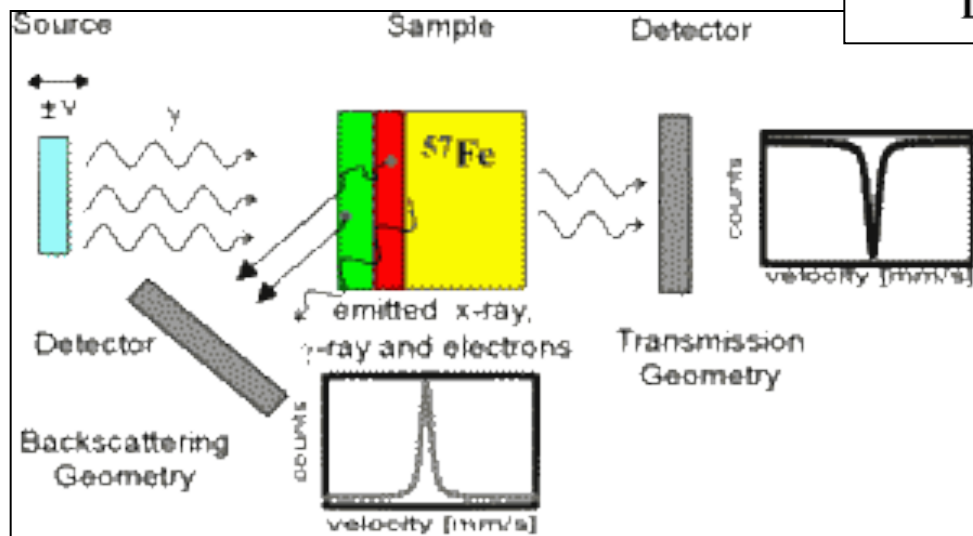
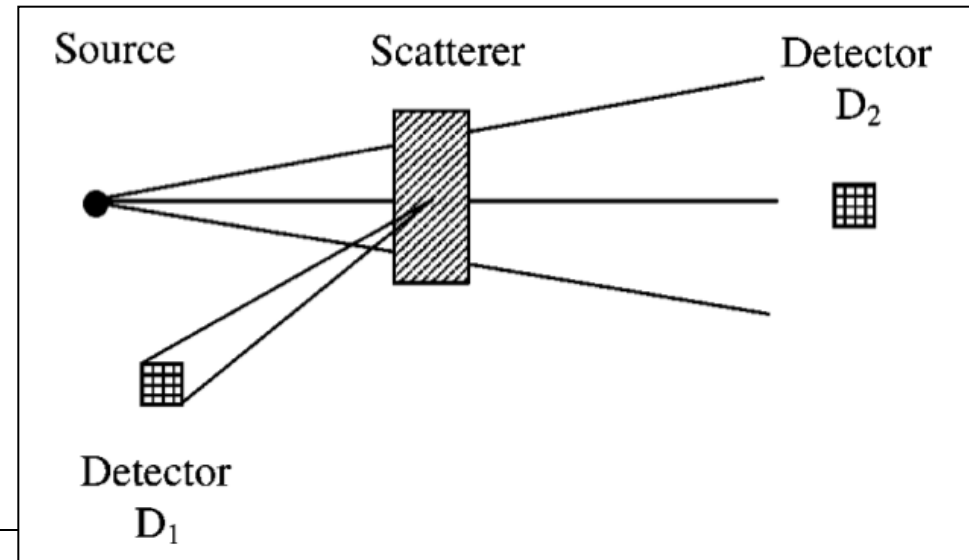
πλάτος της στάθμης

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



Πυρηνικός συντονισμός

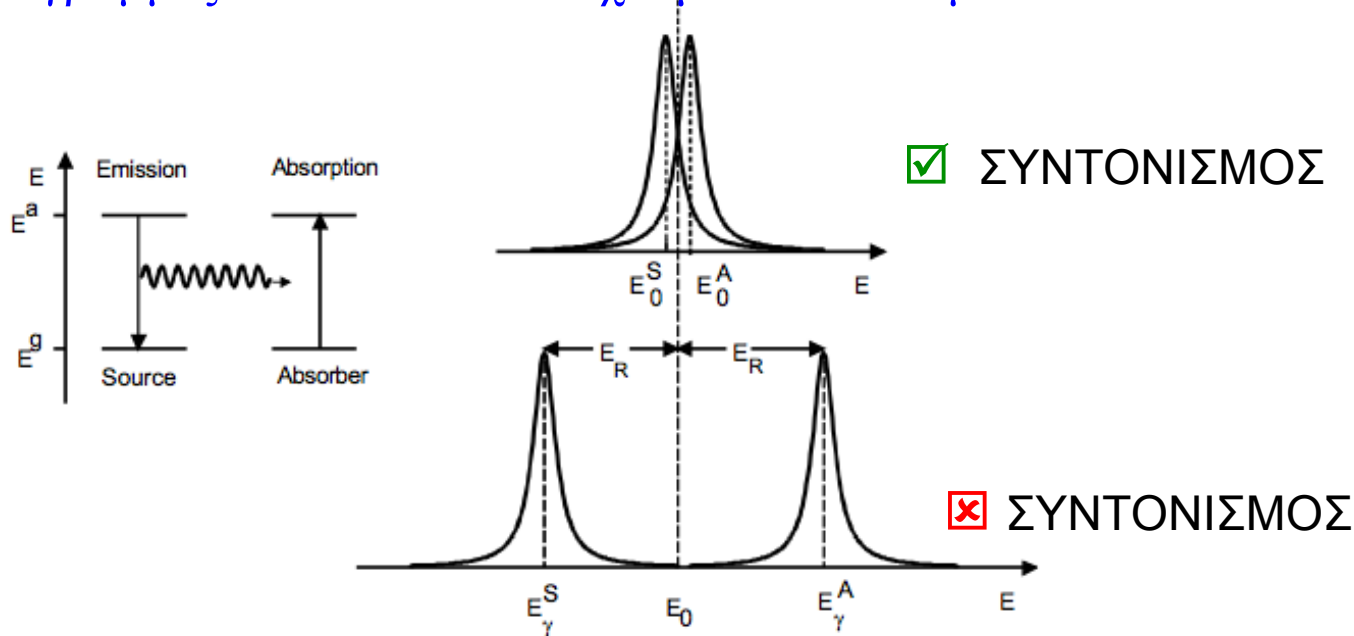
*Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση
φθορισμό συντονισμού ή/και
απορρόφηση συντονισμού*



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

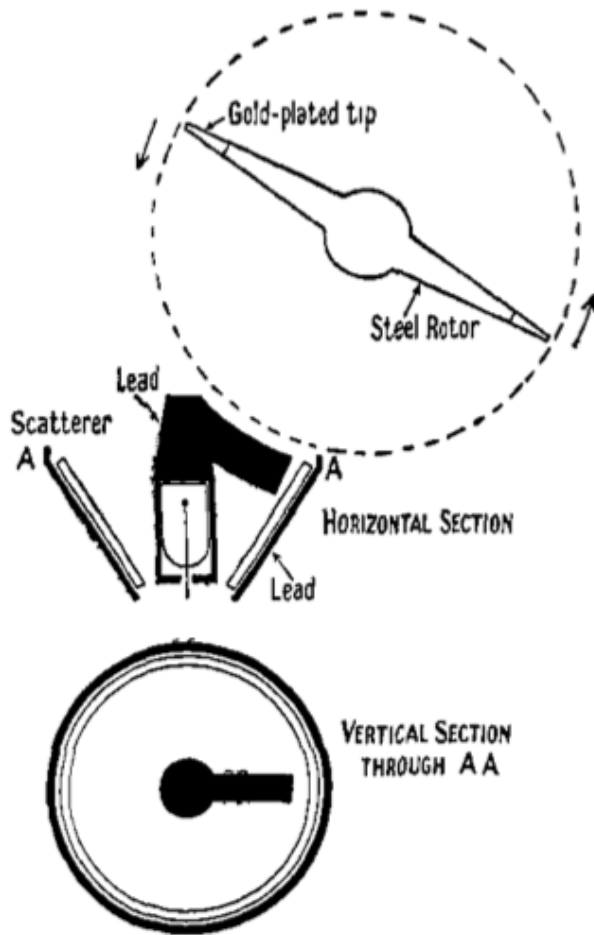


Figure 1. (Not to scale)

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

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

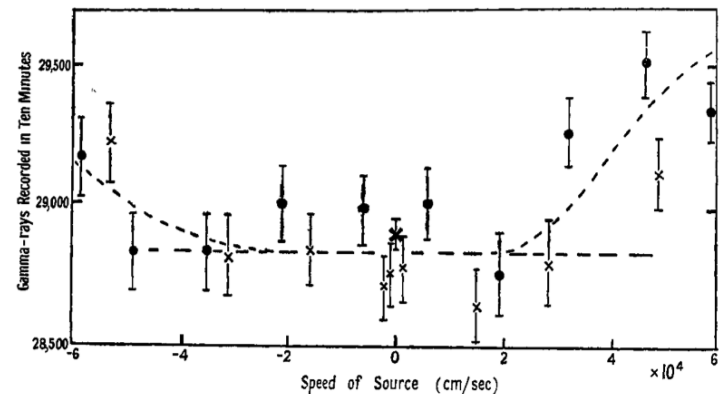


Figure 2. Effect of speed of source on rate of recording of scattered gamma-rays. Negative speeds indicate rotation in opposite sense to that shown in Figure 1.

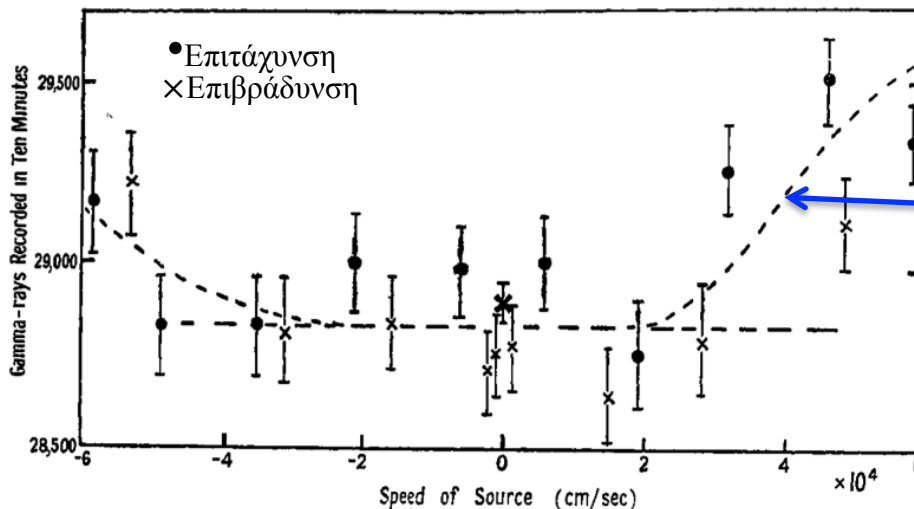
Κατέγραψε μικρή αύξηση στην ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

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.
- Απαιτούμενη ταχύτητα 32E/A μέχρι 5 cm/s (εφικτή τεχνολογικά)

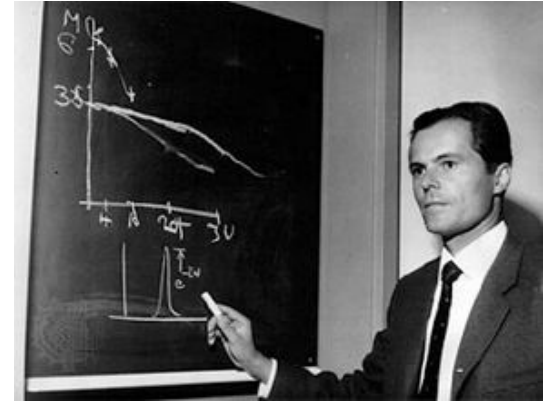


Κατέγραψε μικρή αύξηση στην ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

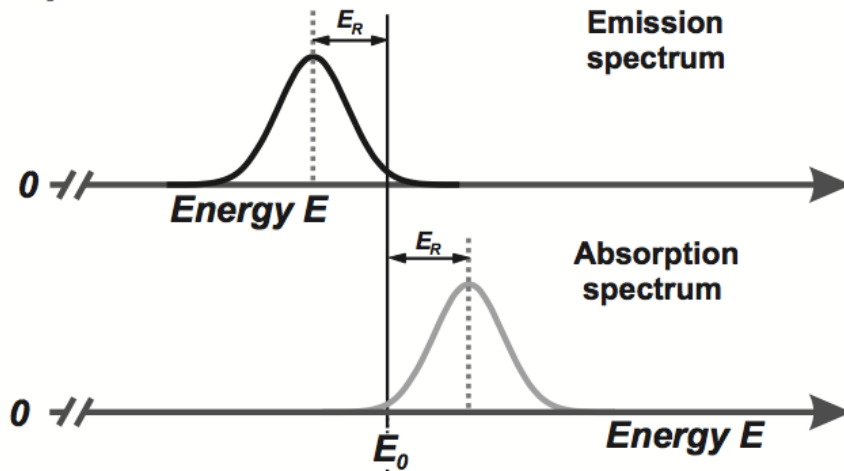
Figure 2. Effect of speed of source on rate of recording of scattered gamma-rays. Negative speeds indicate rotation in opposite sense to that shown in Figure 1.

Rudolf L. Mössbauer

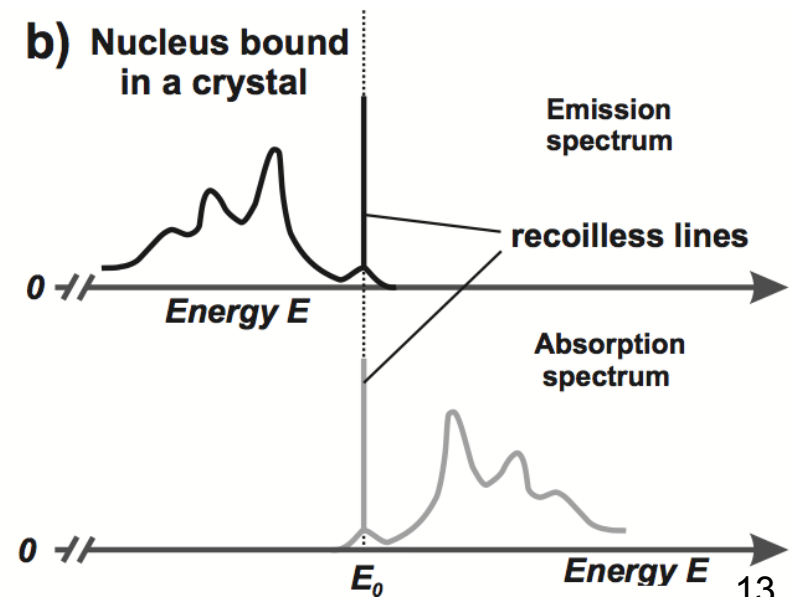
Ο Mössbauer ανακάλυψε ότι σε **χαμηλές θερμοκρασίες**, όταν ένας πυρήνας που βρίσκεται στο πλέγμα ενός κρυστάλλου και εκπέμπει ένα γ-φωτόνιο, η ενέργεια ανάκρουσης γίνεται ελάχιστη και σε κάποιες περιπτώσεις ο κρύσταλλος δεν μπορεί να απορροφήσει ενέργεια και άρα η ενέργεια ανάκρουσης μηδενίζεται.



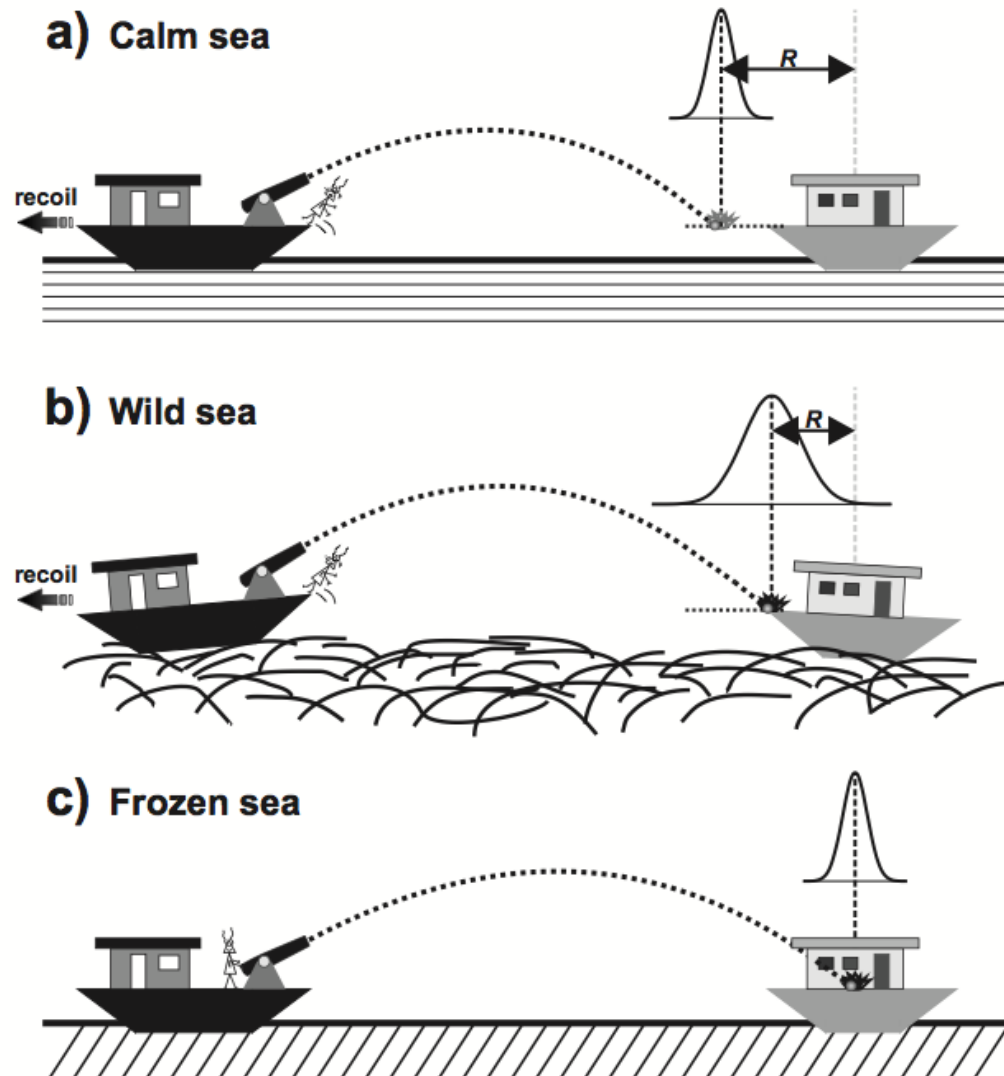
a) Freely recoiling nucleus



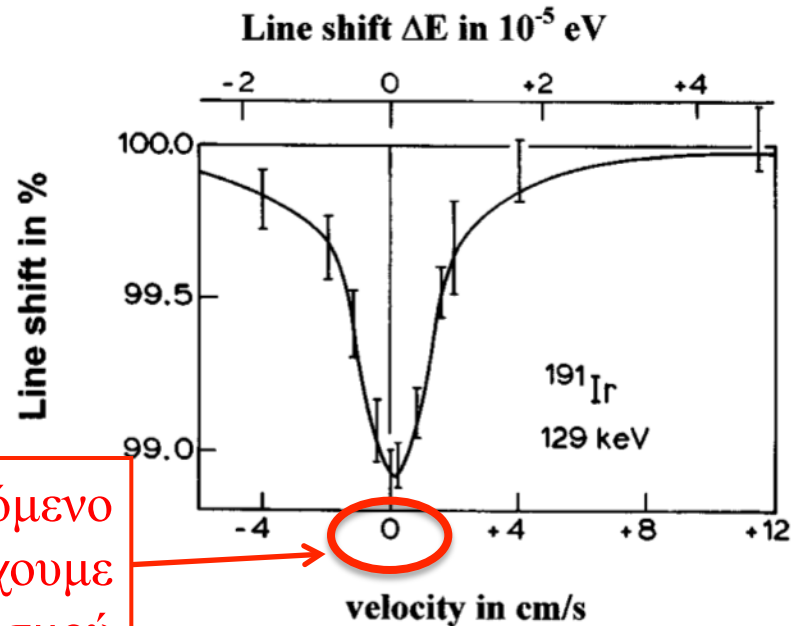
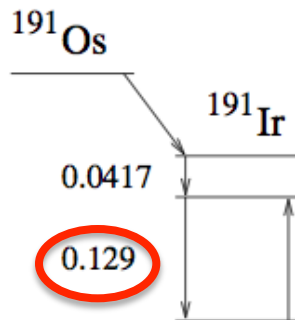
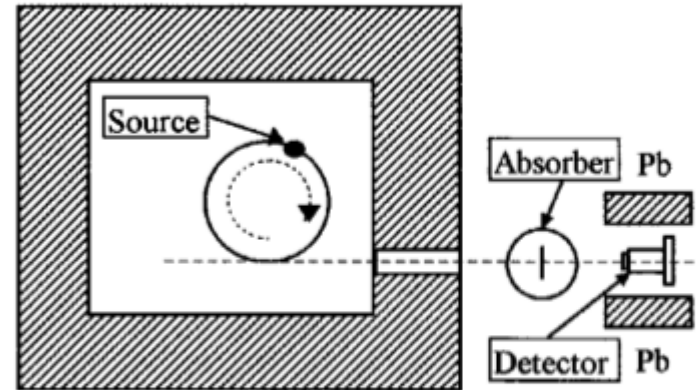
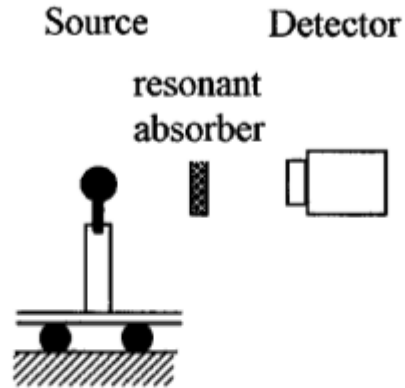
b) Nucleus bound in a crystal



Φαινόμενο Mössbauer



Φαινόμενο Mössbauer



Δεν χρειάζεται το φαινόμενο
Doppler για να έχουμε
απορρόφηση συντονισμού

Φαινόμενο Mössbauer

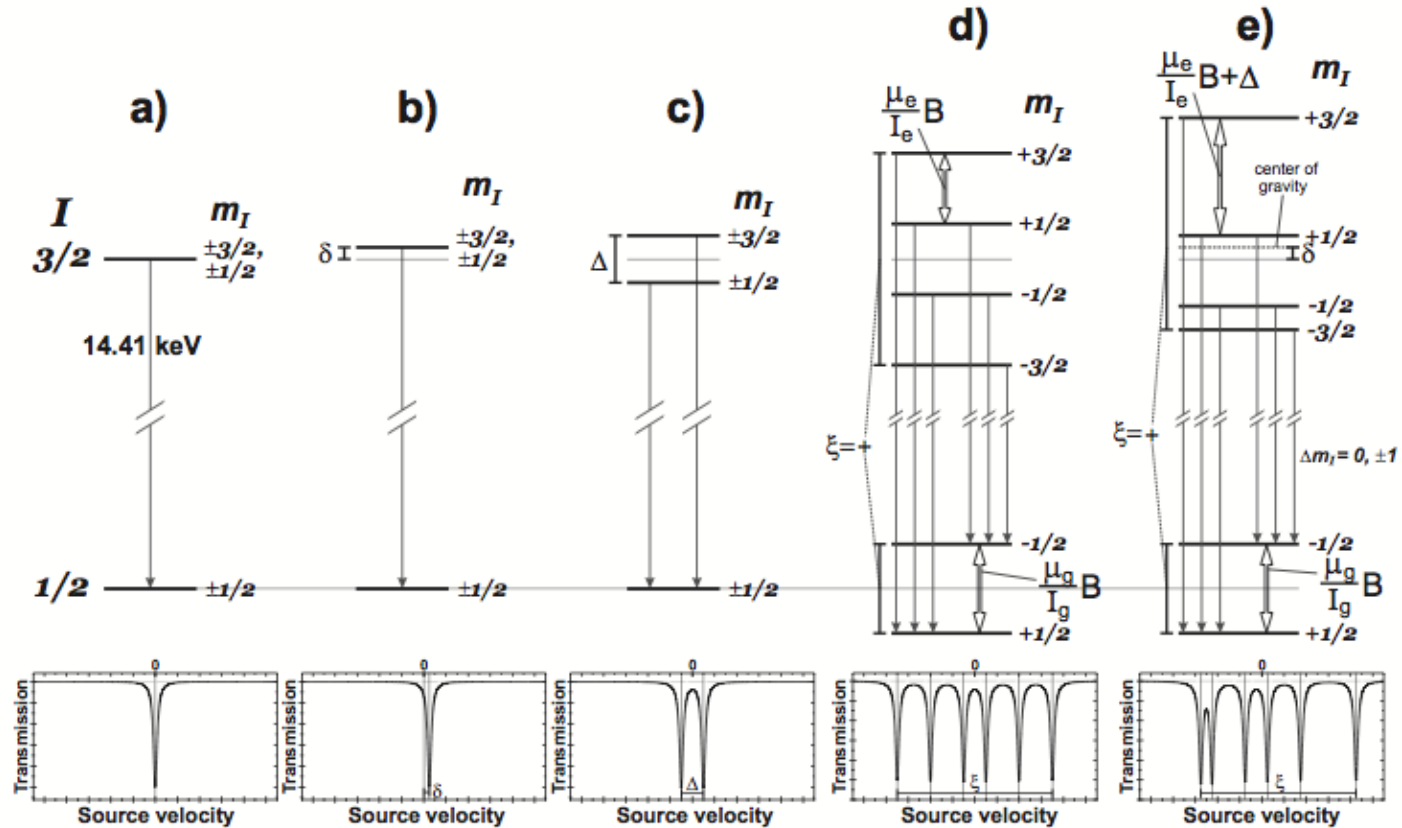
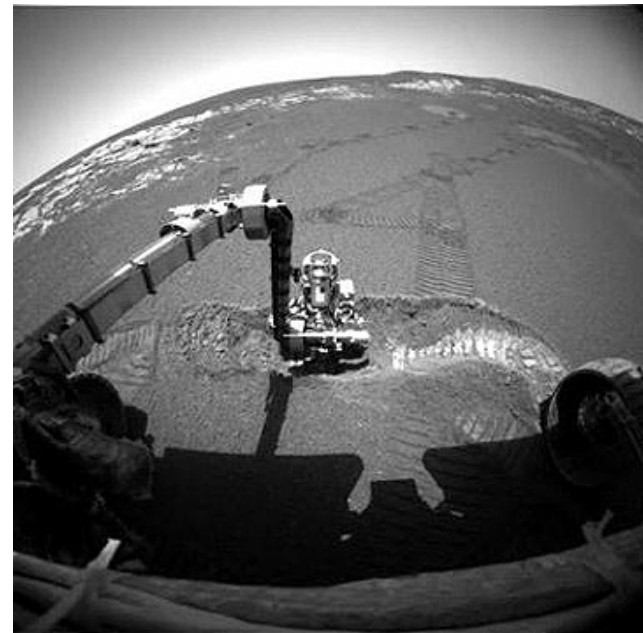
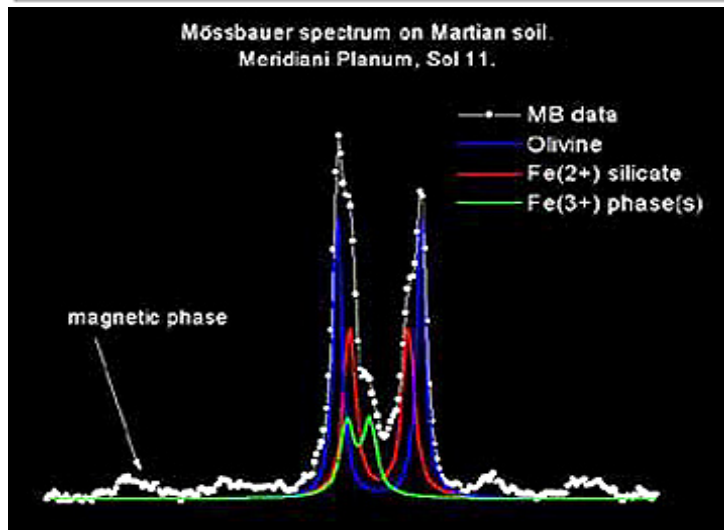
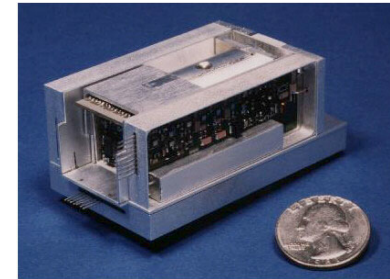


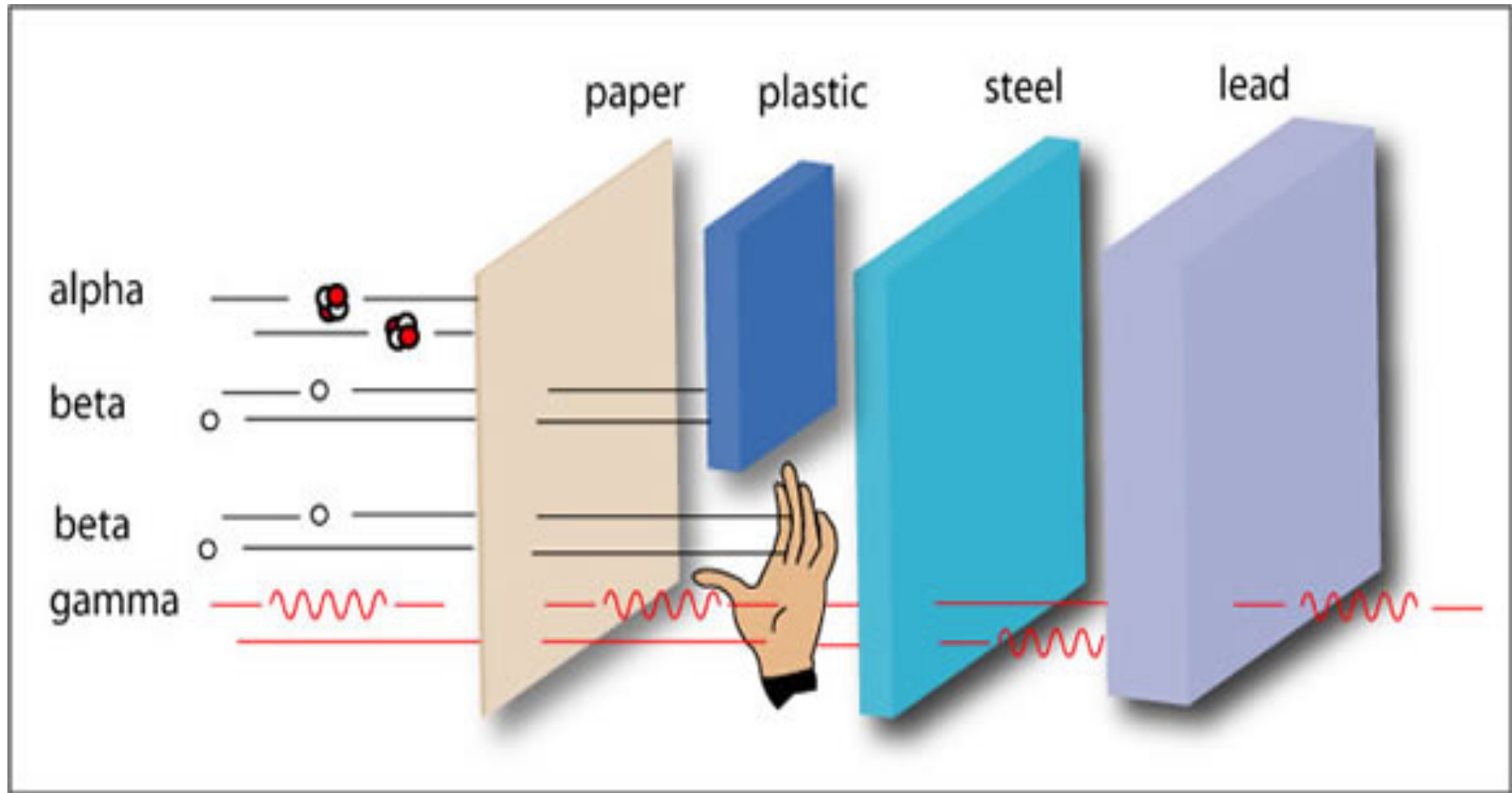
Figure 6.6: Nuclear energy level splittings (top) and corresponding Mössbauer spectra (bottom) for ^{57}Fe in case of: **a)** an isolated nucleus, **b)** only an electric monopole interaction, **c)** only a quadrupole interaction, **d)** only a magnetic dipole interaction and **e)** all interactions 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



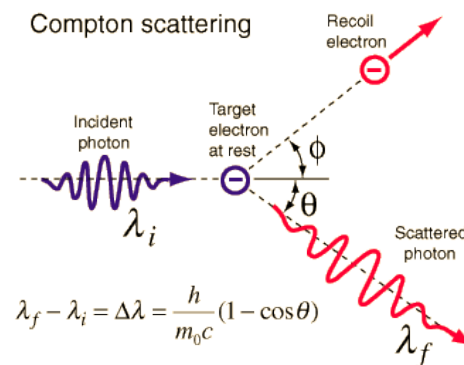
Φωτόνια στην ύλη

- Σκέδαση Rayleigh

- Σύμφωνη ελαστική σκέδαση φωτονίου στο άτομο
- $\gamma + \text{atom} \rightarrow \gamma + \text{atom}$
- Προεξάρχει για $\lambda_\gamma \gg \text{size of atoms}$

- Σκέδαση Compton

- Μή σύμφωνη σκέδαση σε ατομικό ηλεκτρόνιο (θεωρούμε σχεδόν ελεύθερο το e)
- $\gamma + e^-_{\text{bound}} \rightarrow \gamma + e^-_{\text{free}}$
- Πιθανό για $E_\gamma > \min(E_{\text{bind}})$



- Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

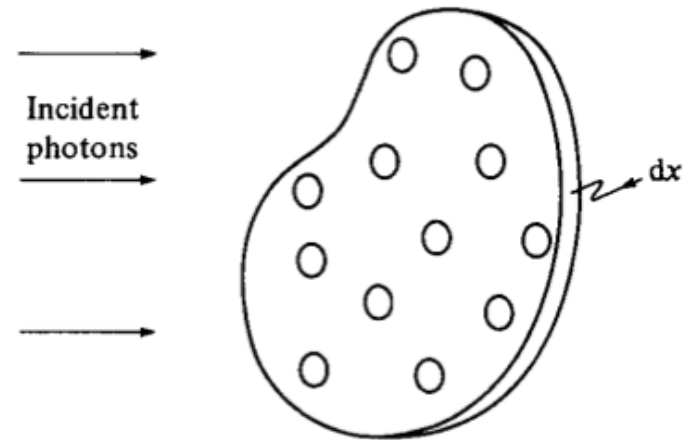
- Απορρόφηση του φωτονίου και εκπομπή ενός ηλεκτρονίου
- $\gamma + \text{atom} \rightarrow \gamma + e^-_{\text{free}} + \text{ion}$
- Πιθανό $E_\gamma > \max(E_{\text{bind}}) + dE$ ($E_{\text{atomic-recoil}}$, εύρος γραμμής)

- Δύδιμη γέννηση

- Απορρόφηση του γ από το άτομο και εκπομπή ζεύγους e^+e^- .
- $\gamma + \text{nucleus} \rightarrow e^+ + e^- + \text{nucleus}_{\text{recoil}}$
- Απαιτείται: $E_\gamma > 2m_e c^2 + E_{\text{recoil}}$ (μεγάλο M_{recoil} μικρότερο κατώφλι $E_{\text{recoil}} = P_{\text{recoil}}^2 / 2M_{\text{recoil}}$)
- Ο πυρήνας πρέπει να ανακρουσθεί για τη διατήρηση της ορμής, $\rightarrow$ απαιτείται η παρουσία πυρήνα/ατόμου $\rightarrow$ ισχυρή εξάρτηση ενεργού διατομής από το φορτίο 19 (αυξάνεται με το Z)

Αλληλεπίδραση γ - ύλης

Υλικό πυκνότητας ρ , επιφάνειας S , αποτελείται από άτομα μάζας m_a , περιέχει $(\rho/m_a)Sdx$ άτομα



$$\frac{dn}{n} = -\frac{(\rho/m_a)S dx \sigma_{\text{tot}}}{S} = -(\rho/m_a)\sigma_{\text{tot}} dx.$$

$$n(x) = n(0)e^{-\mu x}$$

Μαζικός συντελεστής
εξασθένισης (ή απορρόφησης)

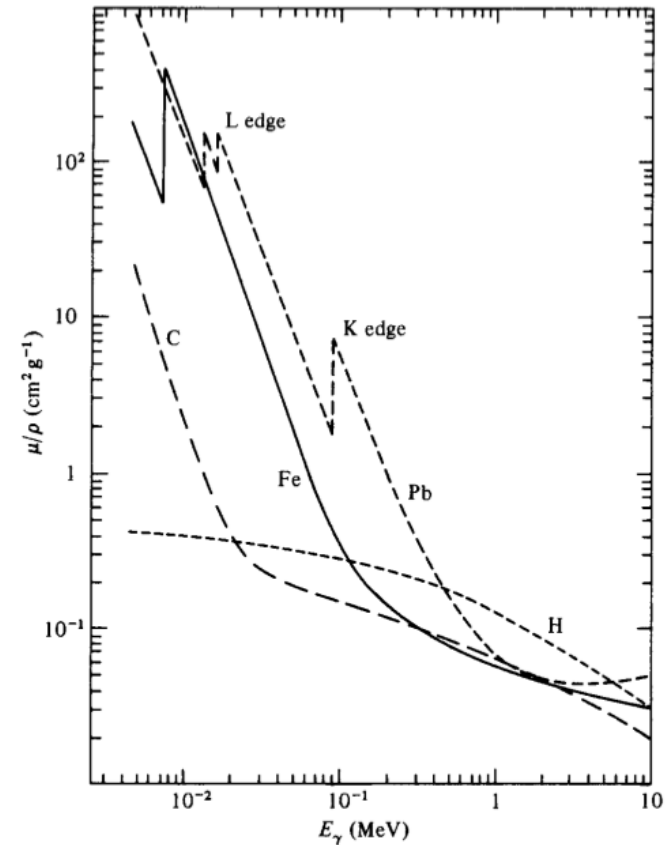
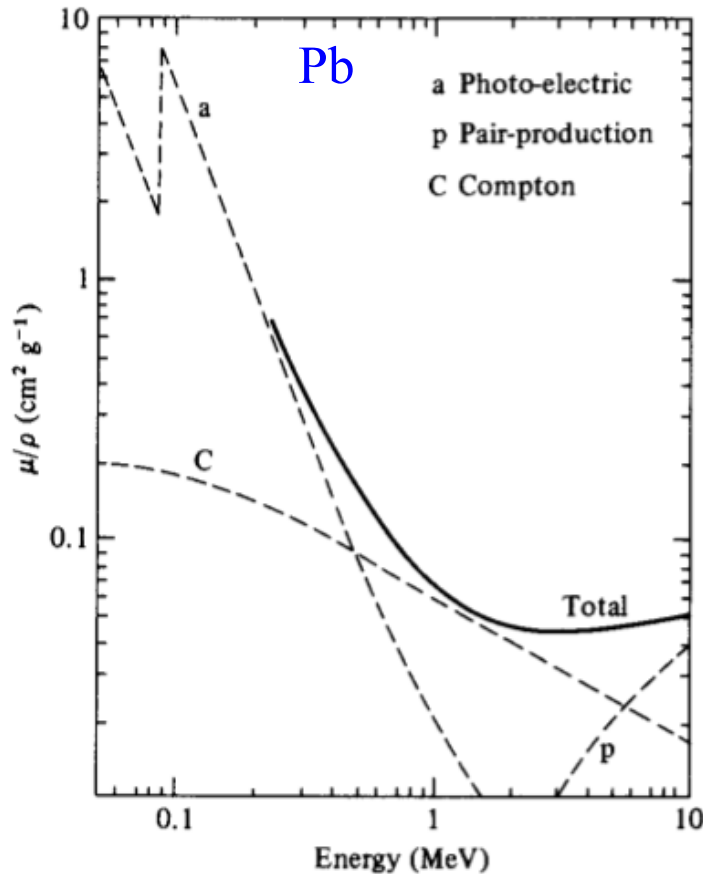
$$\mu = \rho\sigma_{\text{tot}}/m_a$$

συνολική ενεργός διατομή

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_a + Z\sigma_C + \sigma_p.$$

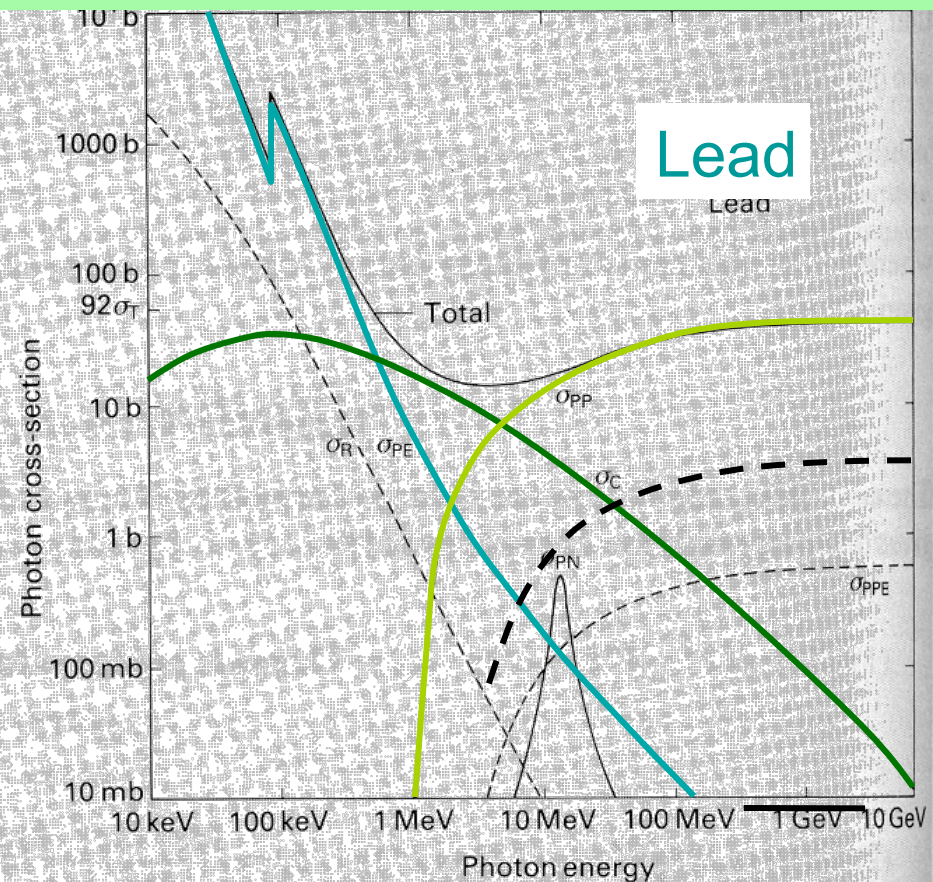
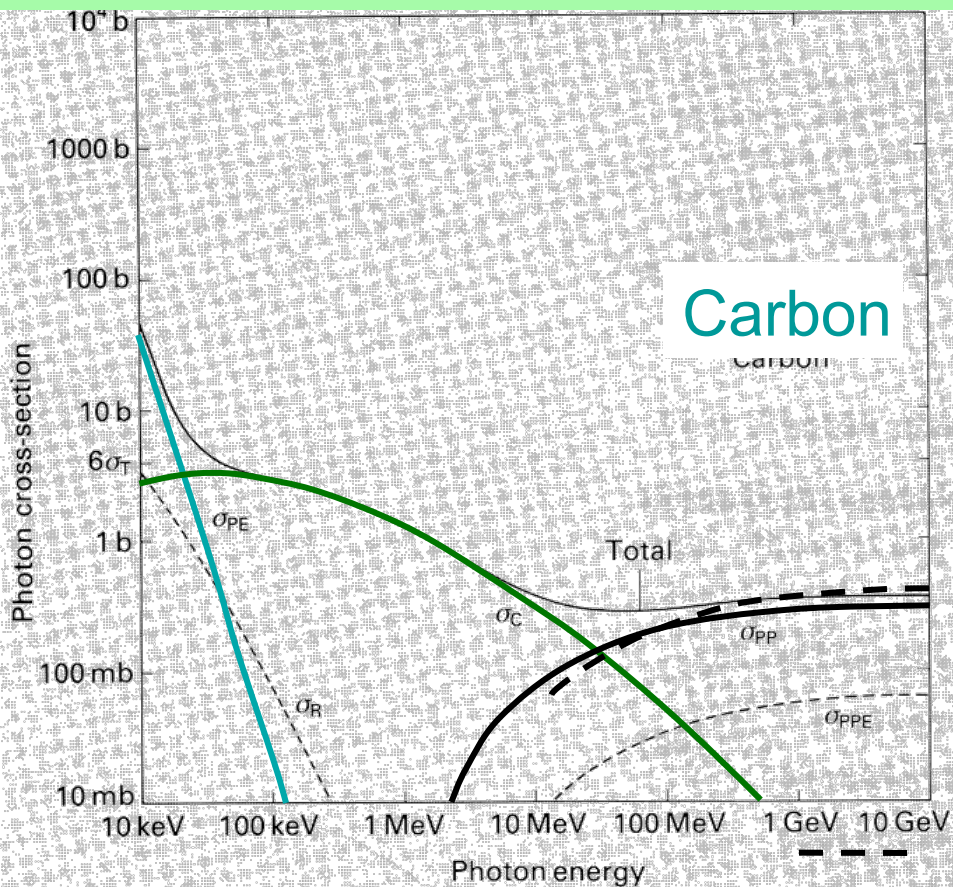
Αλληλεπίδραση γ - ύλης

$$\mu = \rho \sigma_{\text{tot}} / m_a$$



Μαζικός συντελεστής απορρόφησης ως συνάρτηση της ενέργειας του φωτονίου και οι συνεισφορές των διαφόρων φαινομένων.

Φωτόνια στην ύλη



R → Rayleigh PE → Photoeffect C → Compton PP → Pair Production on nucleus
 PPE → Pair Production on atomic electrons PN → Giant Photo-Nuclear dipole resonance

ασκηση

Η βασική κατάσταση του ^{73}Br έχει $J^P = 1/2^-$ και οι δύο πρώτες καταστάσεις έχουν $J^P = 5/2^-$ (26.92 keV) και $J^P = 3/2^-$ (178.1 keV). Δώστε τις πιθανές μεταπτώσεις γ ανάμεσα σ' αυτές τις στάθμες και εκτιμήστε το μέσου χρόνο ζωής της κατάστασης $3/2^-$.

(χρησιμοποιείτε τις σχέσεις του Weisskopf: $\Gamma_\gamma(E1) = 0.07E^3A^{2/3}$, $\Gamma_\gamma(M1) = 0.0021E^3$, $\Gamma_\gamma(E2) = 4.9 \cdot 10^{-8}E^5A^{4/3}$).

	$J_i \rightarrow J_f$	$\Delta J \leq l \leq \Sigma J$	$\Delta\pi$	τύπος	$E_\gamma(\text{keV})$
1	$5/2 \rightarrow 1/2$	2,3	+1	M3+E2	26.92
2	$3/2 \rightarrow 1/2$	1,2	+1	M1+E2	178.1
3	$3/2 \rightarrow 5/2$	1,2,3,4	+1	M1+E2+M3+E4	151.18

$$\Gamma = \Gamma_\gamma(M1) + \Gamma_\gamma(E2) = 0.0021E^3 + 4.9 \cdot 10^{-8}E^5A^{4/3} = 1.187 \times 10^{-5} \text{ MeV}$$

$$\tau = \hbar / 2\pi\Gamma = 5.55 \times 10^{-17} \text{ s}$$