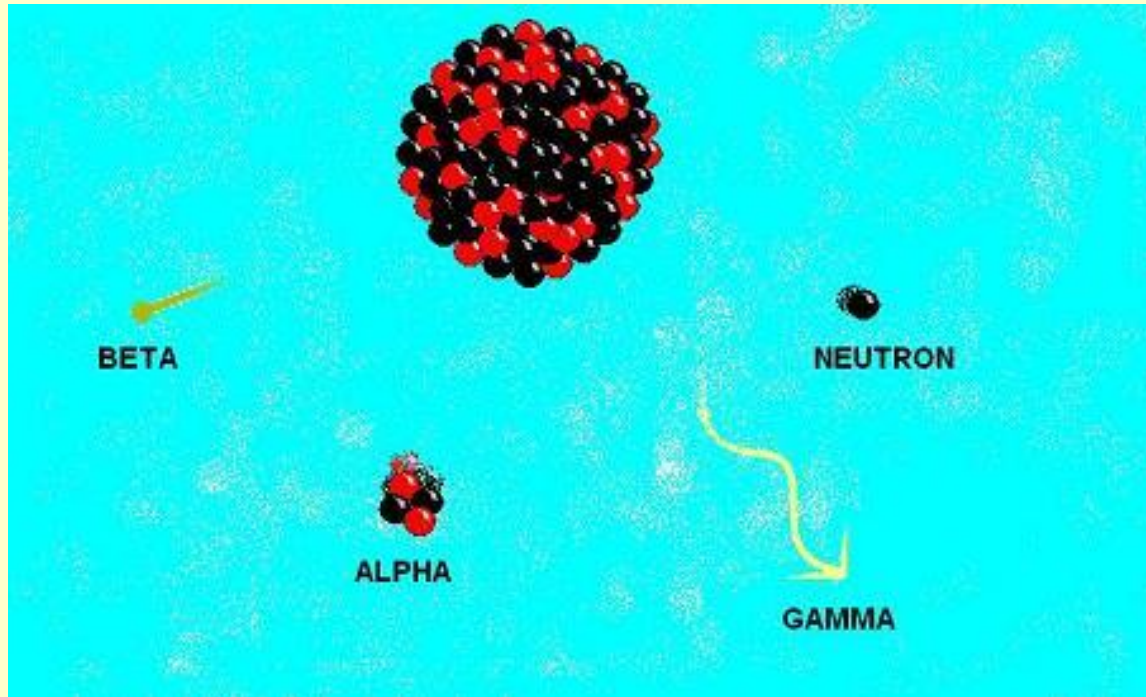


# Ραδιενέργεια



Τι είναι η  
μεταστοιχείωση



**Μεταστοιχείωση** είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας πυρήνας μετατρέπεται σε έναν άλλο πυρήνα (ή πυρήνες) διαφορετικού στοιχείου.



Και γιατί γίνεται  
μεταστοιχείωση;



Οι περισσότεροι από τους  
υπάρχοντες **πυρήνες** είναι **ασταθείς**  
και γι αυτό κάθε πυρήνας θέλει να  
πάει σε μια πιο σταθερή κατάσταση.



Γιατί μερικοί  
πυρήνες είναι πιο  
σταθεροί από  
άλλους;



Ένας βασικός λόγος είναι το διαφορετικό μέγεθος των πυρήνων. Οι πυρήνες που έχουν πολλά νουκλεόνια διασπώνται, γιατί οι ηλεκτρικές απωστικές δυνάμεις μεταξύ των πρωτονίων τείνουν να υπερिशύουν των πυρηνικών δυνάμεων μεταξύ γειτονικών νουκλεονίων.



Έτσι, οι μεγάλοι πυρήνες έχουν αρκετά περισσότερα νετρόνια από πρωτόνια.



Τα νετρόνια παίζουν το ρόλο της πυρηνικής "κόλλας", γιατί αυτά μόνο έλκονται από τα γειτονικά τους νουκλεόνια.

Αυτό βοηθά στην καλύτερη συγκόλληση του πυρήνα.

π.χ. Το  ${}_{92}^{238}\text{U}$  έχει 92p και 146n.

Τι σχέση έχει η  
μεταστοιχείωση με  
τη ραδιενέργεια;



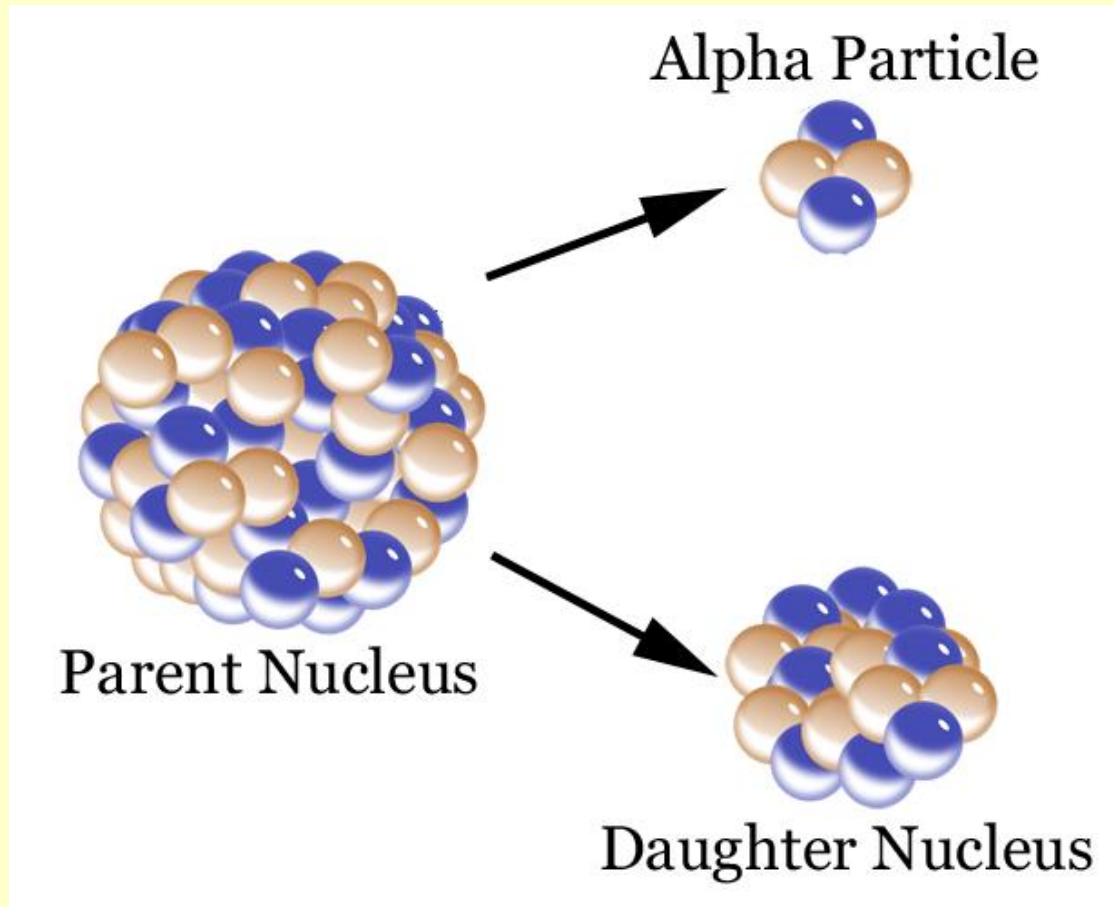
Όταν ένας πυρήνας μετατρέπεται  
αυθόρμητα σε άλλο πυρήνα,  
εκλύεται ενέργεια με ταυτόχρονη  
εκπομπή ακτινοβολίας.



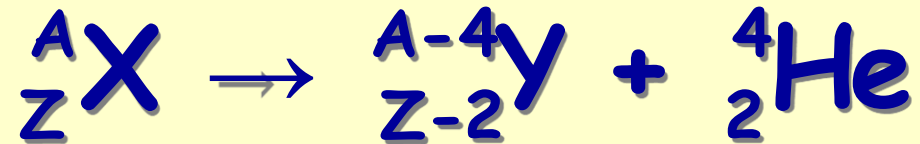
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται  
**ραδιενέργεια**.

Η έκλυση της ενέργειας γίνεται με  
τις **ακτινοβολίες α, β, γ**.

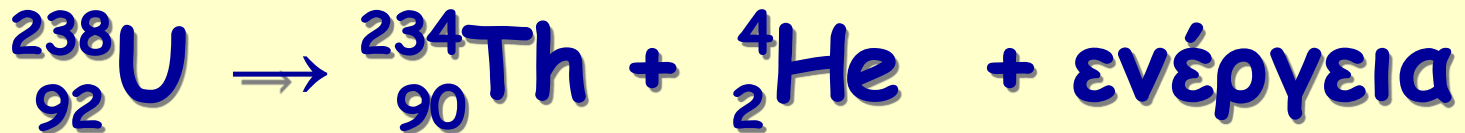
# Διάσπαση Άλφα ( $\alpha$ )



Τα σωματάρια **α** είναι **πυρήνες** του στοιχείου  ${}^4_2\text{He}$ .

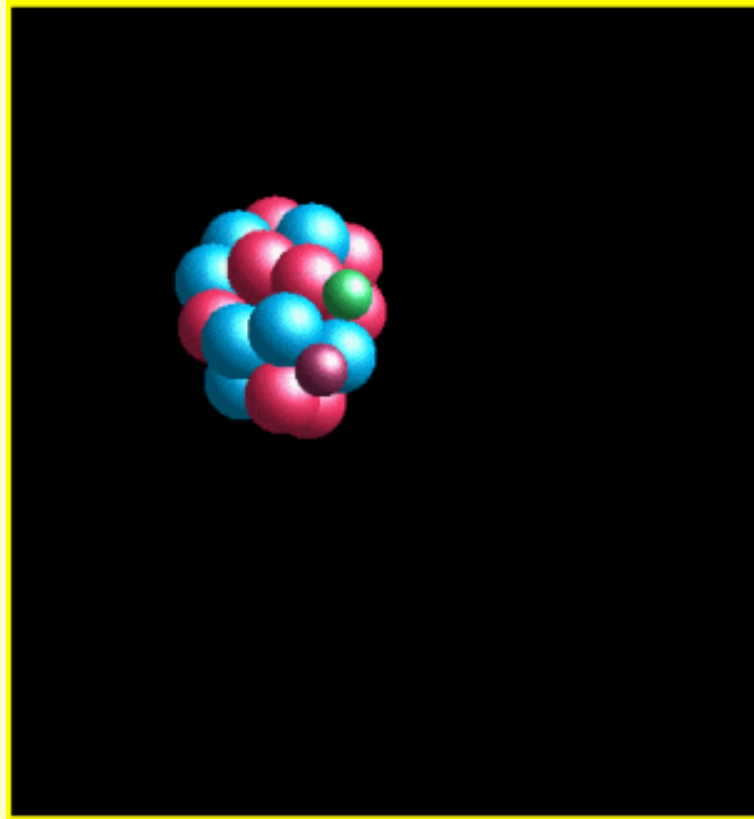


Κατά τη **διάσπαση α**, η μάζα του μητρικού πυρήνα είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των μαζών του θυγατρικού πυρήνα και του σωματίου α.



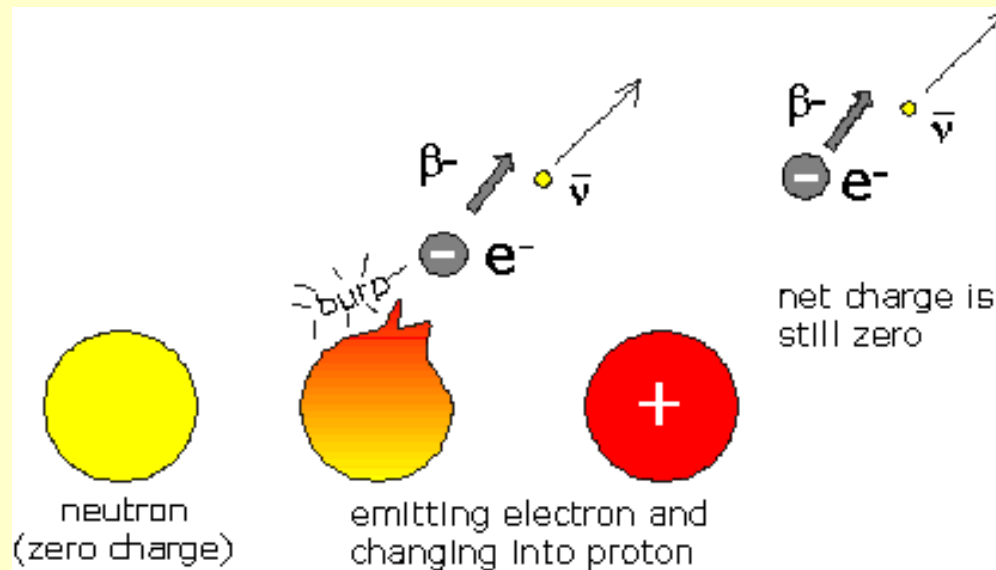


# Διάσπαση Βήτα ( $\beta$ )

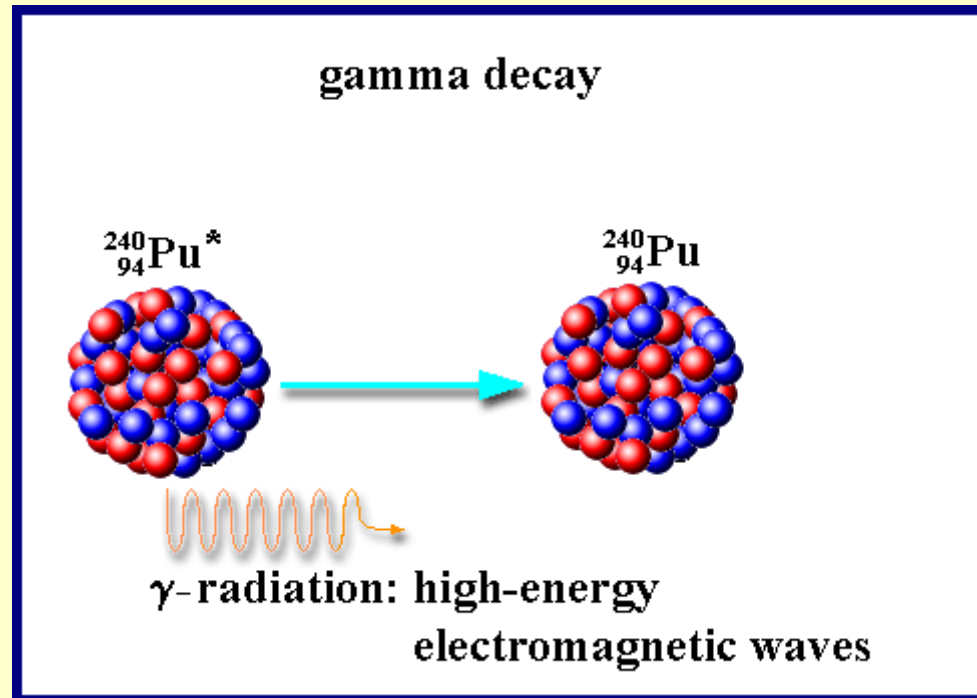


Η διάσπαση  $\beta$  μπορεί να είναι

- διάσπαση  $\beta^-$  που συνοδεύεται με εκπομπή ενός ηλεκτρονίου ( $e^-$ )
- διάσπαση  $\beta^+$  που συνοδεύεται με εκπομπή ενός ποζιτρονίου ( $e^+$ )

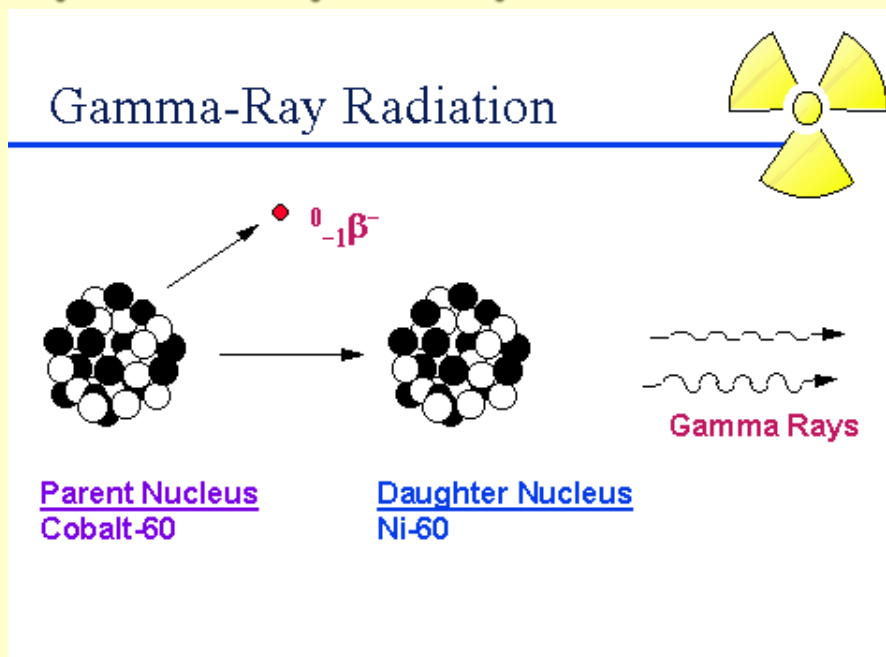


# Διάσπαση Γάμα ( $\gamma$ )



Συχνά, μετά από μια **διάσπαση α ή β** ο νέος πυρήνας που παράγεται βρίσκεται σε μια διεγερμένη ενεργειακή στάθμη.

Τότε, μεταπίπτει σε μια χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη με ταυτόχρονη εκπομπή ενός ή περισσοτέρων φωτονίων.

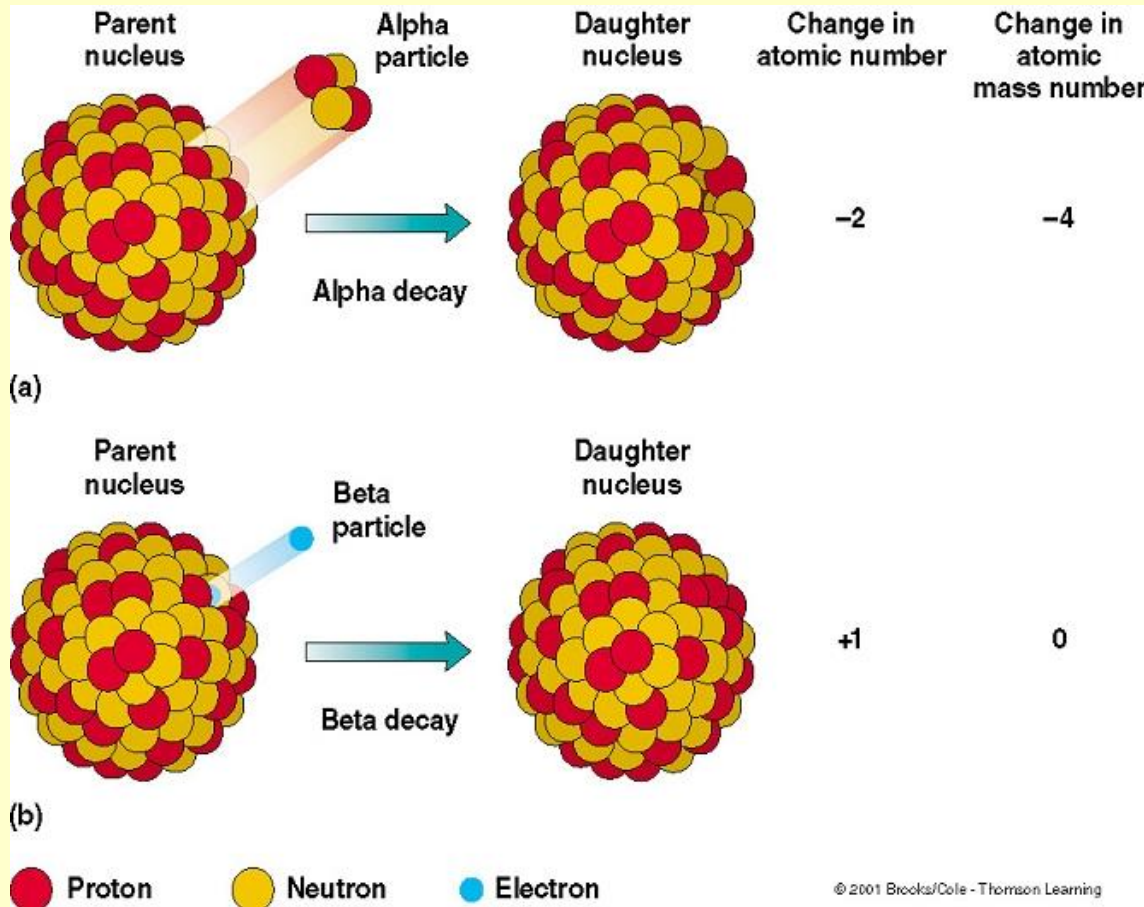


Τα φωτόνια που εκπέμπονται σ' αυτές τις αποδιεγέρσεις των πυρήνων είναι οι **ακτίνες** ή **σωματίδια  $\gamma$** .

Οι **ακτίνες  $\gamma$**  κουβαλούν πολύ **υψηλές ενέργειες**.

Κατά την εκπομπή της ακτινοβολίας  $\gamma$  δεν αλλάζει ο μαζικός (A) και ο ατομικός (Z) αριθμός του πυρήνα.

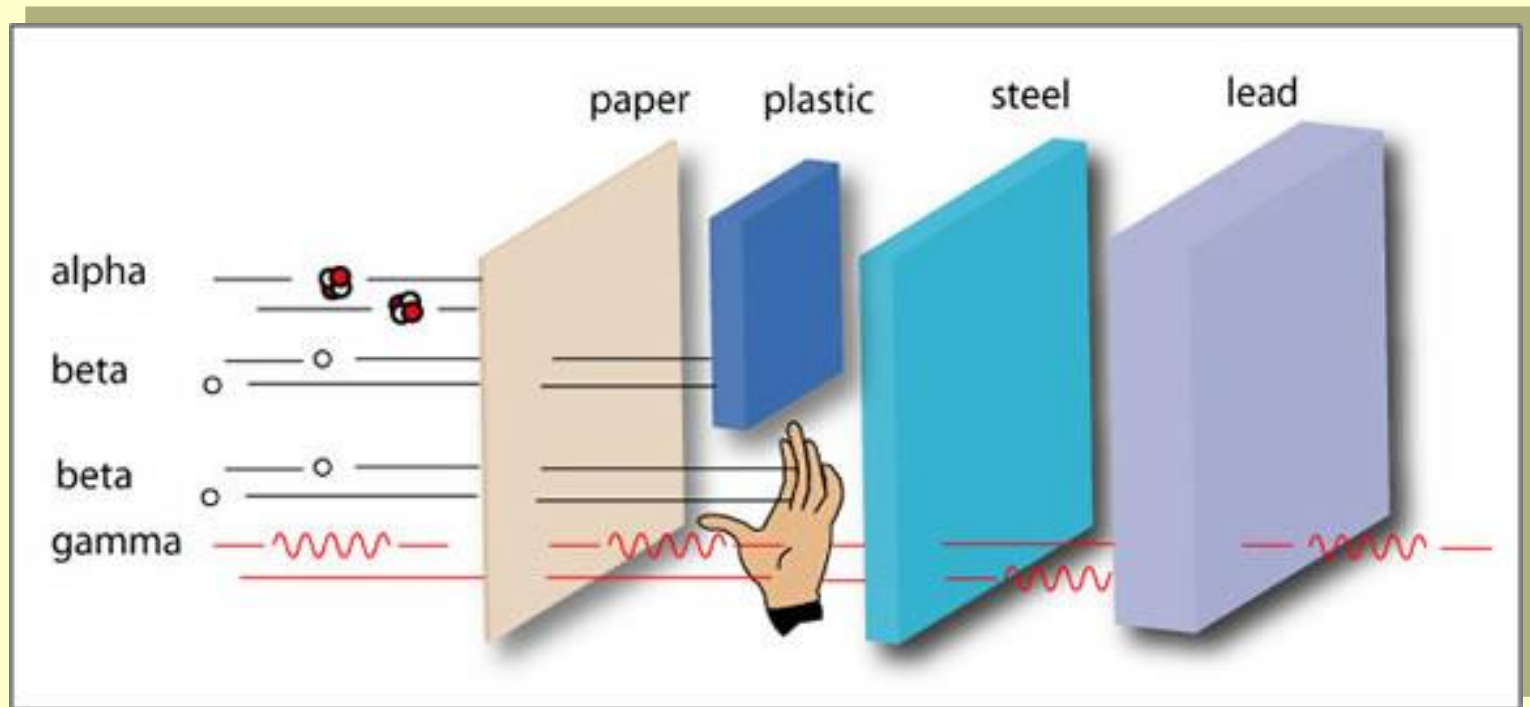
# Ραδιενεργές διασπάσεις α και β



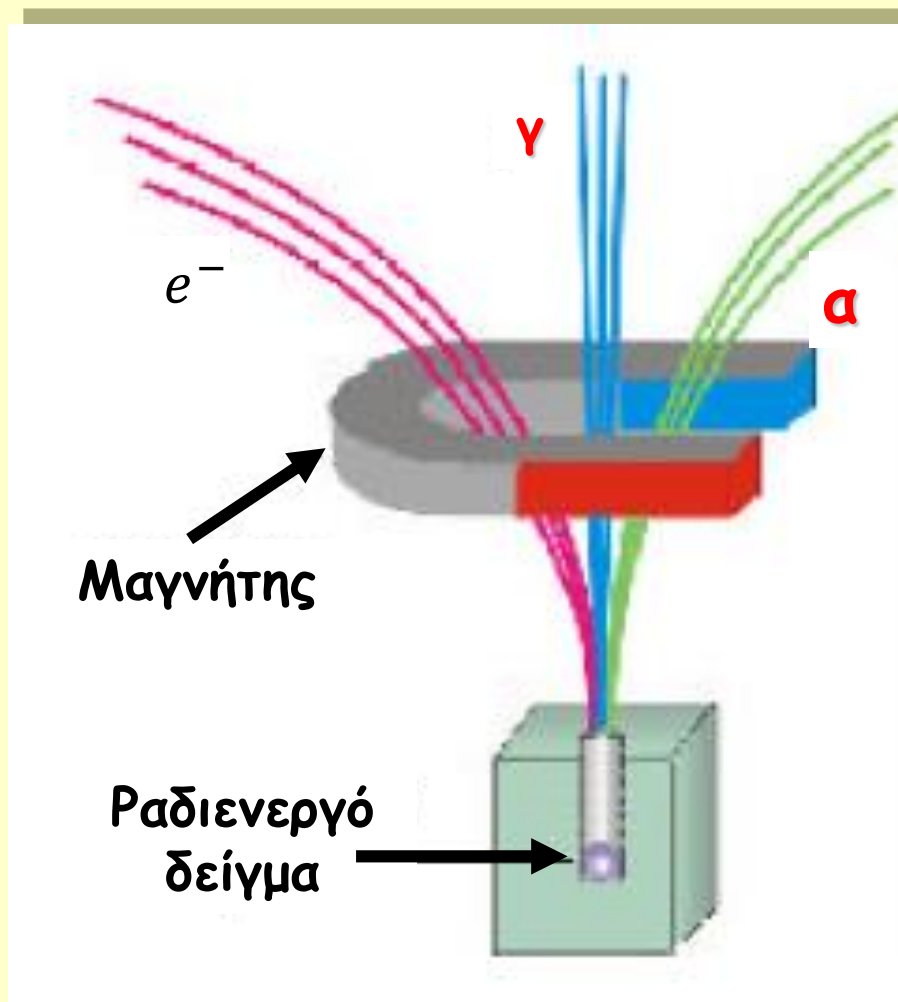
**URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY**

type of radiation	nuclide	χρόνος ημιζωής
α	uranium-238	4.47 billion years
β	thorium-234	24.1 days
β	protactinium-234m	1.17 minutes
α	uranium-234	245000 years
α	thorium-230	8000 years
α	radium-226	1600 years
α	radon-222	3.823 days
α	polonium-218	3.05 minutes
β	lead-214	26.8 minutes
β	bismuth-214	19.7 minutes
β	polonium-214	0.000164 seconds
α	lead-210	22.3 years
β	bismuth-210	5.01 days
β	polonium-210	138.4 days
α	lead-206	stable

# Διεσδυτική ικανότητα ακτινοβολιών $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$



# Διαχωρισμός ακτινοβολιών α, β, γ





# Ρυθμοί διάσπασης - Χρόνος υποδιπλασιασμού

Έστω ότι υπάρχουν  $N$  αδιάσπαστοι  
ραδιενεργοί πυρήνες κάποια χρονική στιγμή.

Στατιστικά, ο αριθμός των διασπάσεων  $\Delta N$   
που θα συμβούν σε ένα χρονικό διάστημα  
 $\Delta t$  θα είναι

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$$

όπου  $\lambda$  η σταθερά διάσπασης.

Η σταθερά διάσπασης  $\lambda$  είναι μεγάλη για  
τους πυρήνες που διασπώνται γρήγορα  
και μικρή για όσους διασπώνται αργά.

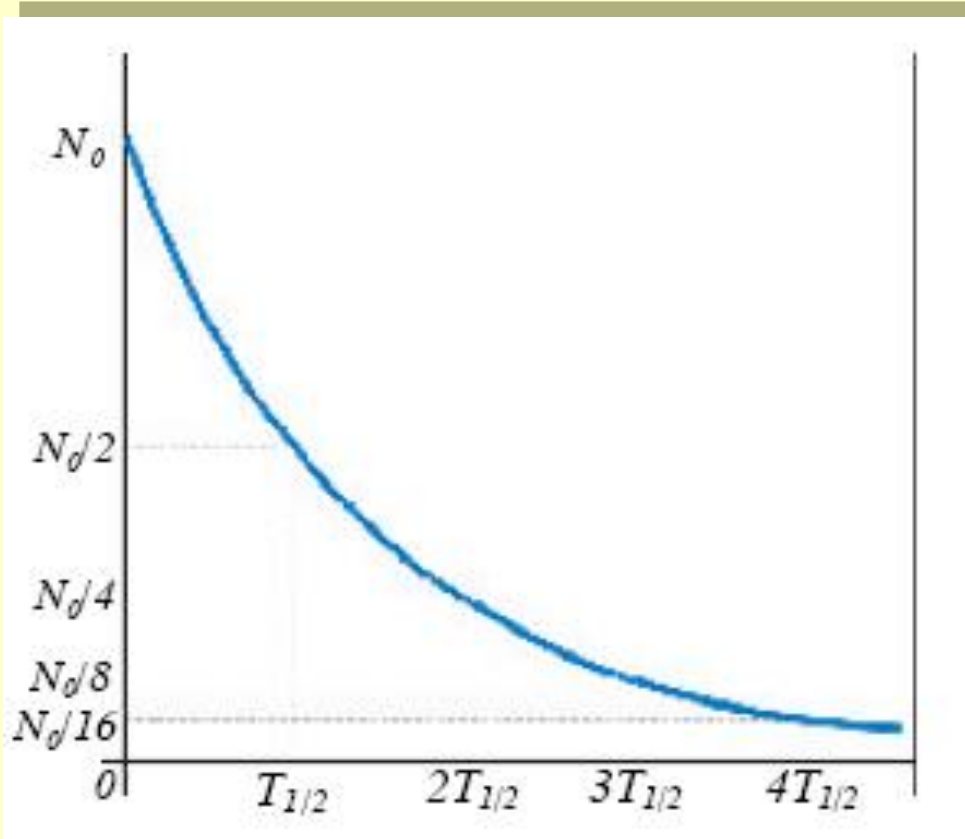
$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \equiv -\lambda N$$

Η απόλυτη τιμή  $\left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$  ονομάζεται  
**ενεργότητα του δείγματος.**

Μονάδα ενεργότητας στο SI  
είναι το **1 Becquerel (Bq).**

$$1\text{Bq} = 1 \text{ διάσπαση /s}$$

**Χρόνος υποδιπλασιασμού ή ημιζωή ( $T_{1/2}$ )**  
λέγεται ο χρόνος που χρειάζεται, ώστε ο  
αριθμός των αρχικών ραδιενεργών πυρήνων  $N_0$   
να μειωθεί στο μισό.



$$N \equiv N_0 e^{-\lambda t}$$

# Εφαρμογές

1. Δέσμη ραδιενεργού ακτινοβολίας, η οποία αποτελείται από σωματίδια  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ , εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο κάθετα στις μαγνητικές γραμμές του. Μέσα στο μαγνητικό πεδίο εκτρέπονται από την αρχική πορεία τους

- α. μόνο τα  $\alpha$  και τα  $\beta$ .
- β. μόνο τα  $\beta$  και τα  $\gamma$ .
- γ. μόνο τα  $\alpha$  και τα  $\gamma$ .
- δ. και τα τρία.

2. Κατά τη διάσπαση  $\alpha$  ο μαζικός αριθμός του μητρικού πυρήνα

- α. μένει ίδιος.
- β. μειώνεται κατά 4.
- γ. μειώνεται κατά 2.
- δ. αυξάνεται κατά 1.

3. Κατά τη διάσπαση  $\gamma$  ενός ραδιενεργού πυρήνα χημικού στοιχείου

α. αλλάζει ο μαζικός του αριθμός

β. αλλάζει ο ατομικός του αριθμός

γ. αλλάζει ο αριθμός των νετρονίων του

δ. δεν αλλάζει κανένας από τους παραπάνω αριθμούς.

4. Οι μεγάλοι πυρήνες για να είναι σταθεροί πρέπει

α. να έχουν ίσους αριθμούς πρωτονίων και νετρονίων.

β. να έχουν μεγαλύτερο αριθμό νετρονίων.

γ. να έχουν μεγαλύτερο αριθμό πρωτονίων.

δ. να μην έχουν καθόλου νετρόνια.

5. Κατά το διαχωρισμό σωματιδίων  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ , με τη βοήθεια ενός μαγνητικού πεδίου,

α. τα σωματίδια  $\alpha$  δεν αποκλίνουν.

β. τα σωματίδια  $\gamma$  δεν αποκλίνουν.

γ. τα σωματίδια  $\alpha$  και  $\beta$  αποκλίνουν προς την ίδια κατεύθυνση.

δ. τα σωματίδια  $\gamma$  αποκλίνουν.

6. Κατά τη ραδιενεργό διάσπαση  $\alpha$  ο θυγατρικός πυρήνας σε σχέση με το μητρικό έχει

α. μεγαλύτερο μαζικό αριθμό.

β. ίδιο μαζικό αριθμό.

γ. μικρότερο ατομικό αριθμό.

δ. ίδιο αριθμό νετρονίων.



7. Κατά την εκπομπή ακτινοβολίας  $\gamma$

α. αλλάζει το  $Z$  του πυρήνα.

β. αλλάζει το  $A$  του πυρήνα.

γ. αλλάζει το  $Z$  αλλά παραμένει σταθερό το  $A$  του πυρήνα.

δ. δεν αλλάζει ούτε το  $Z$  ούτε το  $A$  του πυρήνα.

8. Η ακτινοβολία  $\alpha$ , που εκπέμπεται από ένα ραδιενεργό πυρήνα

α. αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα σωμάτια.

β. εκτρέπεται από μαγνητικό πεδίο.

γ. διαπερνά φύλλα μολύβδου αρκετών εκατοστών.

δ. συνδέεται με αύξηση της μάζας του πυρήνα που διασπάται.

9. Κατά τη διάσπαση  $\beta^-$  εκπέμπεται
- α. ένα ηλεκτρόνιο.
  - β. ένα νετρόνιο.
  - γ. ένας πυρήνας ατόμου ηλίου.
  - δ. ένα ποζιτρόνιο.

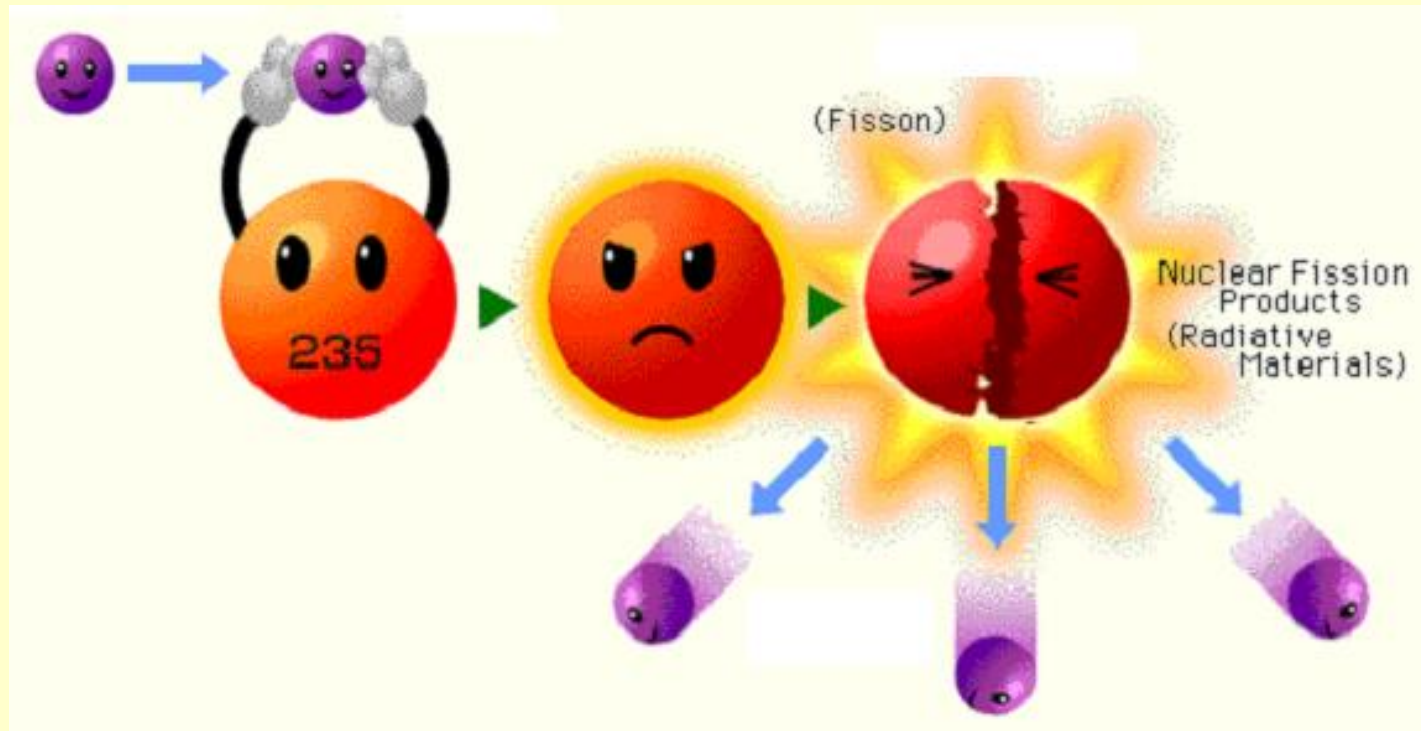
10. Κατά τη διάσπαση  $\gamma$  εκπέμπεται

- α. ένα ηλεκτρόνιο.
- γ. ένα πρωτόνιο.

- β. ένα φωτόνιο.
- δ. ένας πυρήνας ηλίου.

Εσπερ. 2010

# Πυρηνικές αντιδράσεις

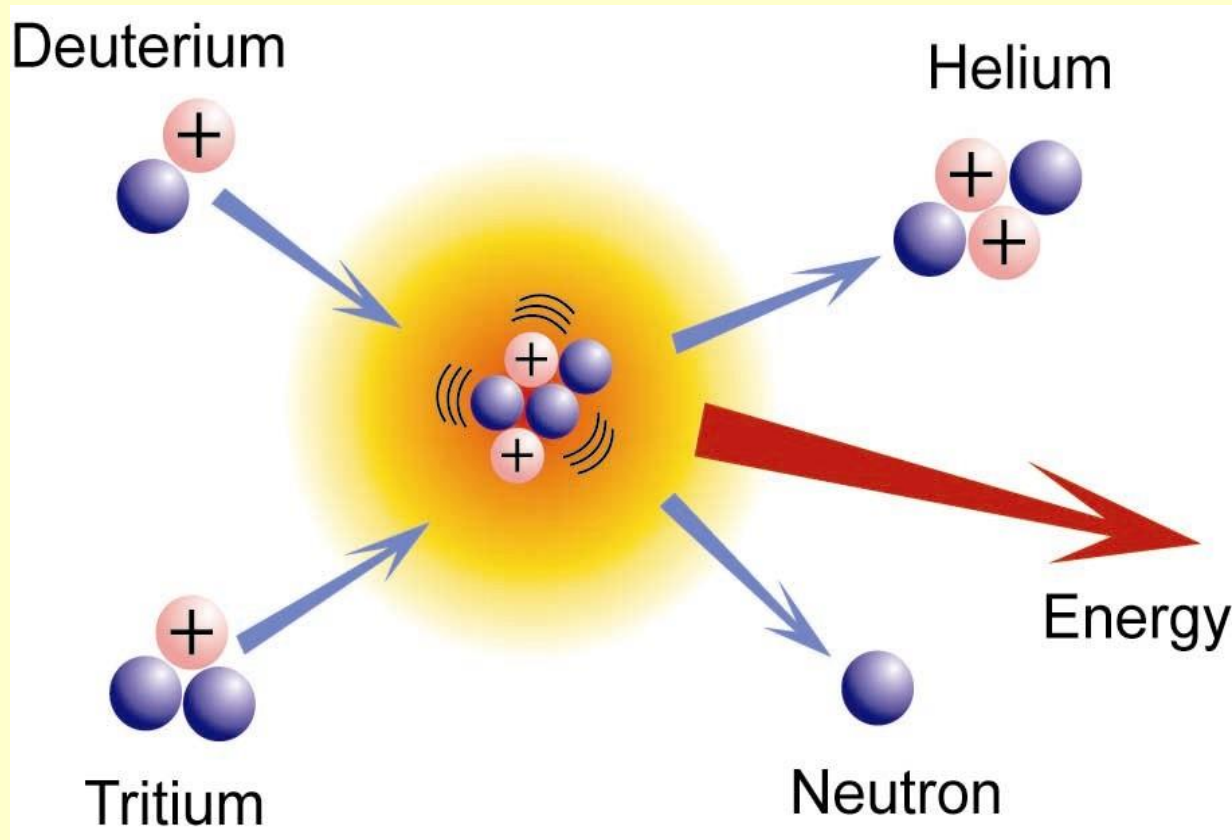


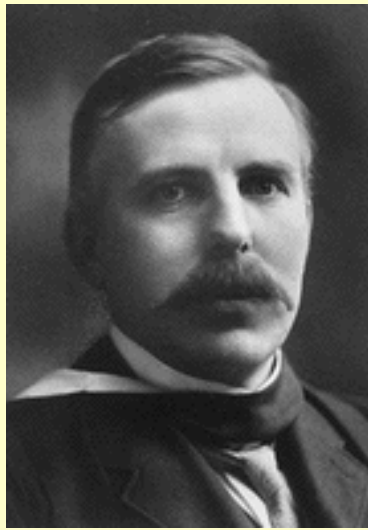
Το φαινόμενο της μετατροπής σταθερών πυρήνων με βομβαρδισμό με κινούμενα σωματίδια σε άλλους πυρήνες λέγεται **τεχνητή μεταστοιχείωση** και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τους ασταθείς πυρήνες που δημιουργούνται λέγεται **τεχνητή ραδιενέργεια**.

Οι πυρηνικές αντιδράσεις διαφέρουν από τις ραδιενεργές διασπάσεις.

Οι πρώτες προκαλούνται με εξαναγκασμό, ενώ οι δεύτερες είναι αυθόρμητες φυσικές διεργασίες.

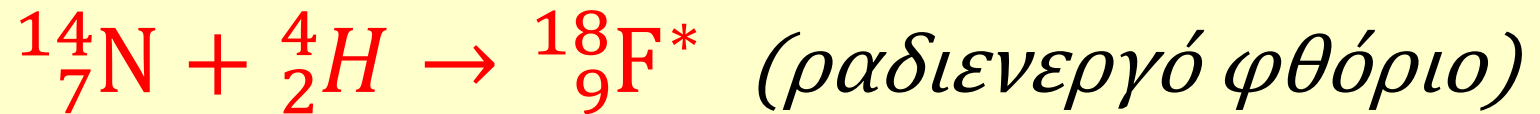
Οι πυρηνικές αντιδράσεις γίνονται όταν **βομβαρδίζουμε πυρήνες-στόχους με κινούμενα σωματίδια.**





*Ernest Rutherford*  
(1871-1937)

Η πρώτη πυρηνική αντίδραση (1909)



Σε κάθε πυρηνική αντίδραση θα πρέπει να διατηρείται

- **το ολικό ηλεκτρικό φορτίο των σωματίων**
- **ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων**
- **η ενέργεια και**
- **η ορμή του συστήματος.**



# Πυρηνική σχέση

Στην **πυρηνική σχάση** ένας βαρύς πυρήνας σχάζεται σε δύο μικρότερους πυρήνες με απορρόφηση νετρονίων.

Η πρώτη πυρηνική σχάση παρατηρήθηκε το 1939 από τους

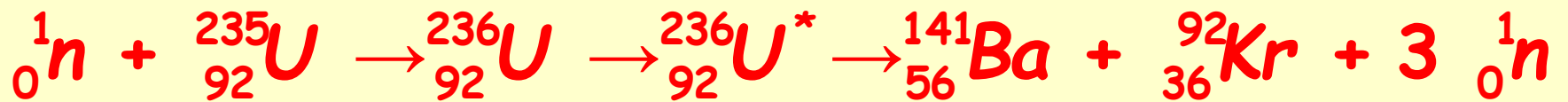
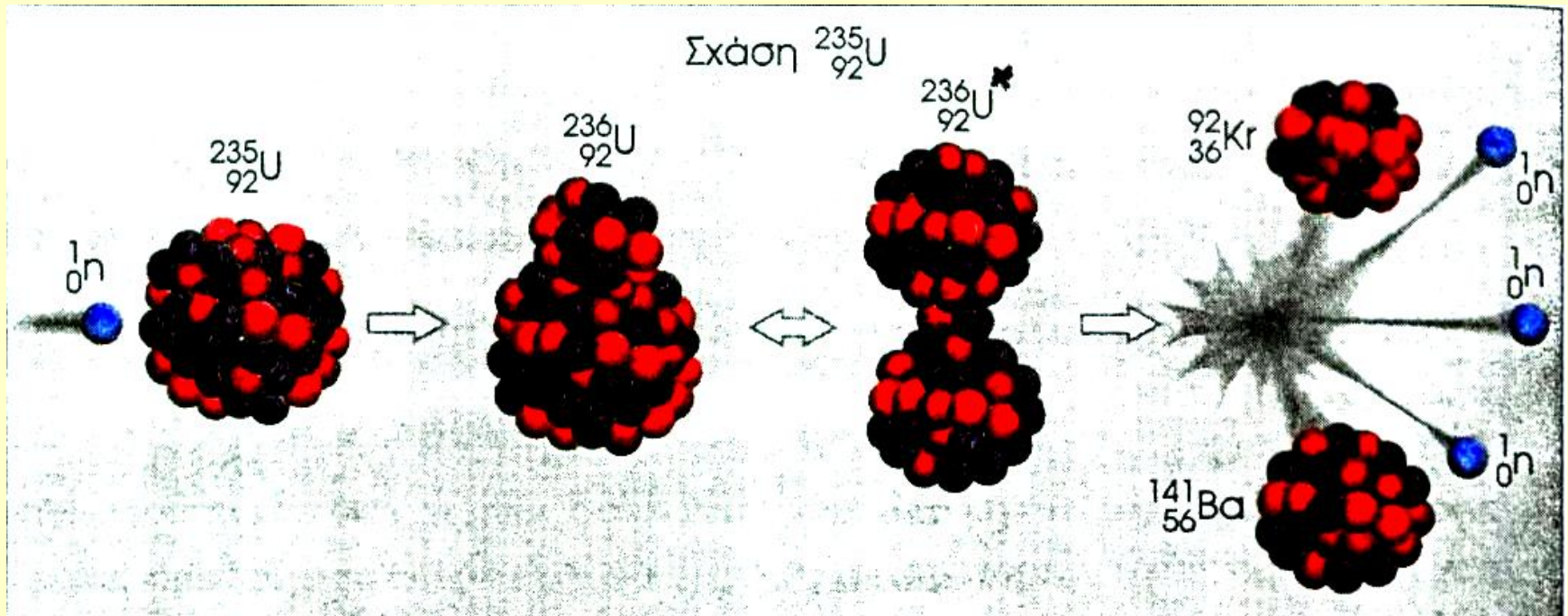


**Otto Hahn**  
1879-1968



**Fritz Strassman**  
1902-1980

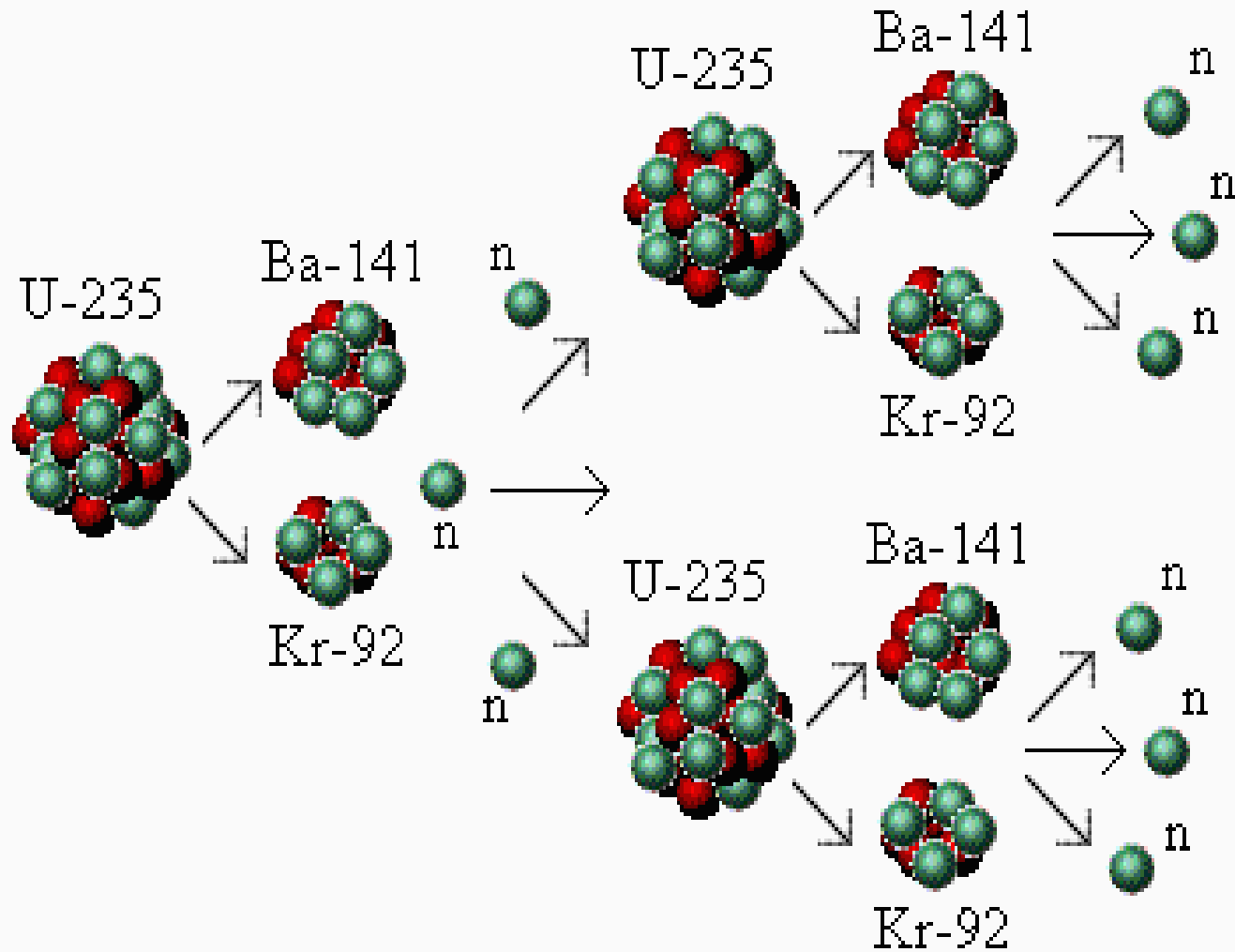
# Σχάση $^{235}_{92}\text{U}$



# Μοντέλο υγρής σταγόνας



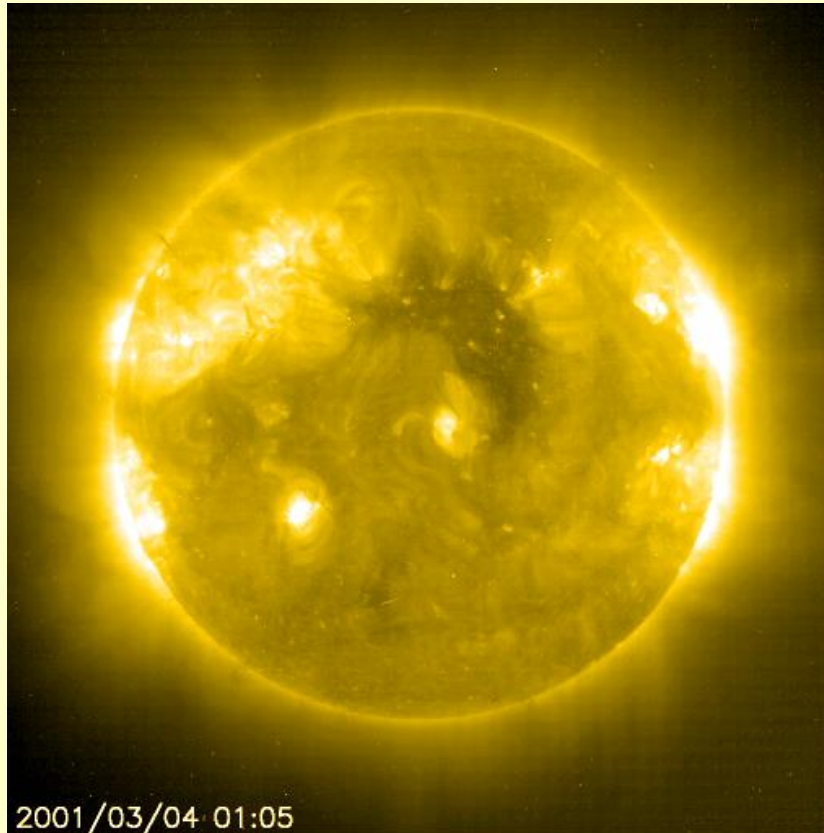
# Αλυσιδωτή αντίδραση



Η μη ελεγχόμενη σχάση αποτελεί την αρχή λειτουργίας της ατομικής βόμβας.

Αν τα ηλεκτρόνια επιβραδύνονται με κατάλληλο μηχανισμό, μπορούμε να διατηρήσουμε μια ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση, με αποτέλεσμα η υψηλή παραγόμενη ενέργεια να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (λειτουργία πυρηνικών αντιδραστήρων).

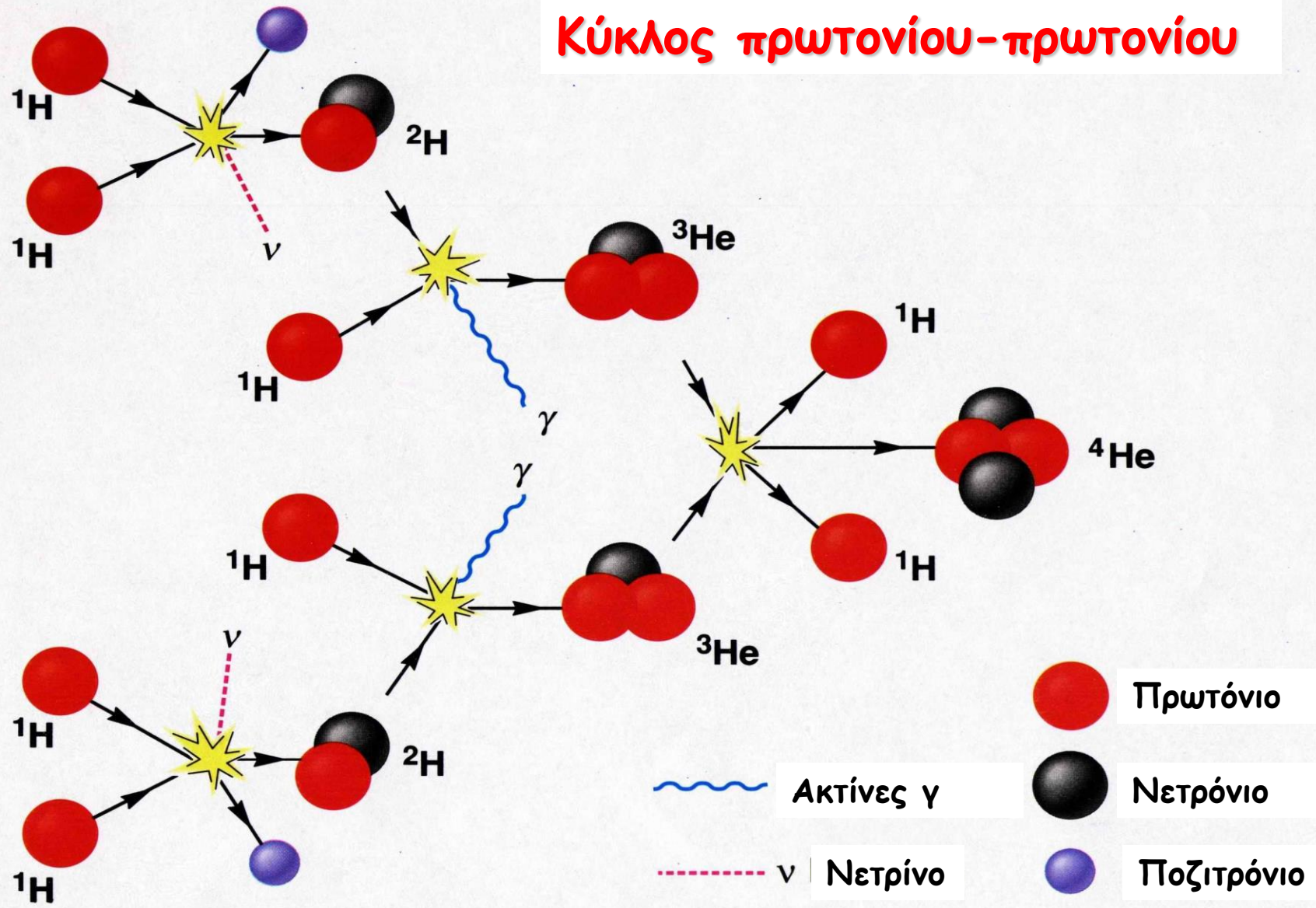
# Πυρηνική σύντηξη (Θερμοπυρηνική αντίδραση)



Η διαδικασία της συνένωσης δύο ελαφρών πυρήνων για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο, ονομάζεται **πυρηνική σύντηξη**.



# Κύκλος πρωτονίου-πρωτονίου



Η ενέργεια που ελευθερώνεται σε κάθε πυρηνική σχάση  $^{235}\text{U}$  είναι μεγέθους 200 MeV.

Η ενέργεια ανά νουκλεόνιο είναι

$$\frac{200 \text{ MeV}}{235 \text{ νουκλεόνιο}} \approx 0,85 \frac{\text{MeV}}{\text{νουκλεόνιο}}$$

Σε κάθε κύκλο πρωτονίου - πρωτονίου η εκλυόμενη ενέργεια είναι 26 MeV.

Η ενέργεια ανά νουκλεόνιο είναι

$$\frac{26 \text{ MeV}}{4 \text{ νουκλεόνιο}} = 6,5 \frac{\text{MeV}}{\text{νουκλεόνιο}}$$

Για να προκληθεί αντίδραση σύντηξης η θερμοκρασία χρειάζεται να είναι της τάξης  $10^8$  K.

Σε μια τέτοια θερμοκρασία η ύλη είναι σε κατάσταση πλάσματος, δηλαδή υπάρχουν μόνο ηλεκτρόνια και πυρήνες.

# Το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων



Διεθνές σύμβολο ύστατης προειδοποίησης για ραδιενέργεια το κύριο επικίνδυνο χαρακτηριστικό των πυρηνικών αποβλήτων.

Τα πυρηνικά απόβλητα παράγονται από πυρηνικά προγράμματα κρατών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή πυρηνικών όπλων.

Η απόρριψή τους γίνεται συνήθως σε προσωρινά μέρη φύλαξης, ενώ μόνιμες λύσεις θεωρούνται η ταφή τους σε έρημους και υπόγειους χώρους, σε ακατοίκητες περιοχές.

Ωστόσο, η ραδιενέργεια που παράγουν καταστρέφει πολλές μορφές ζωής, ενώ μπορεί να ρυπαίνει υπόγεια νερά τα οποία δεν είχαν εντοπιστεί, με καταστροφικές συνέπειες για το τοπικό οικοσύστημα και τον ντόπιο πληθυσμό.

# Εφαρμογές και κίνδυνοι της ραδιενέργειας



# Βλάβες από την ακτινοβολία

Οι **ιονίζουσες ακτινοβολίες** (υπεριώδης, ακτίνες Χ, ακτίνες α,β,γ, νετρόνια), ονομάζονται έτσι, γιατί **όταν απορροφούνται από τα κύτταρα σχηματίζουν ιόντα ή ρίζες**. Όταν περνούν μέσα από την ύλη απορροφούνται από αυτή και της προκαλούν βλάβες.

Το **είδος** και ο **βαθμός των ζημιών** που παθαίνει η ύλη εξαρτάται από

✓ το **είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας** και

✓ **τις ιδιότητες του υλικού** που τις απορροφά.

Τα **στερεά υλικά παθαίνουν βλάβες στην κρυσταλλική τους δομή**, ενώ οι **έμβιοι οργανισμοί παθαίνουν σοβαρές βιολογικές βλάβες**.



Οι ακτινοβολίες αυτές διασπούν τους δεσμούς στις πρωτεΐνες και στο γενετικό υλικό (DNA) πράγμα που συνεπάγεται την καταστροφή ή την μετάλλαξη των κυττάρων καθώς και την αλλοίωση των κληρονομικών χαρακτηριστικών.



# Χρήσεις της ακτινοβολίας

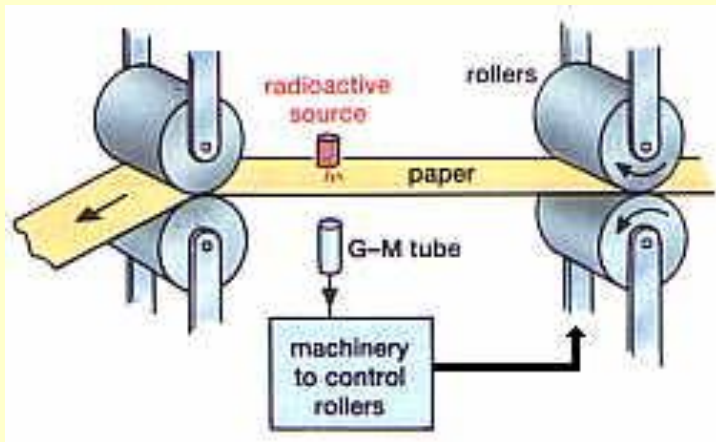
Τα ραδιοϊσότοπα χρησιμοποιούνται για

## ➤ Ανιχνευτές καπνού



Οι συσκευές που δίνουν συναγερμό όταν ανιχνεύουν καπνό, περιέχουν μια ασθενή ραδιενεργό πηγή από το στοιχείο **Αμερίκιο-241**. Τα **σωμάτια α** που εκπέμπονται από την πηγή αυτή **ιονίζουν τον αέρα** και ο αέρας γίνεται αγωγίμος και επιτρέπει τη διέλευση ενός μικρού ρεύματος. Όταν **ο καπνός** εισέλθει στο συναγερμό, **απορροφά τα σωμάτια α**, το ρεύμα ελαττώνεται και η ελάττωσή του κάτω από ένα όριο κάνει τον συναγερμό να ηχεί. Το Αμερίκιο-241 έχει χρόνο ημιζωής 460 χρόνια.

## ➤ Έλεγχος πάχους υλικών



Κατά την διαδικασία παραγωγής χαρτιού, το πάχος του χαρτιού μπορεί να ελεγχθεί αν μετράμε πόση **ακτινοβολία β** διαπερνά το χαρτί και φτάνει σ' έναν ανιχνευτή Geiger-Müller. Ο μετρητής Geiger ελέγχει με κατάλληλο μηχανισμό ανάδρασης την πίεση που ασκούν οι κύλινδροι ώστε να δώσουν στο χαρτί το επιθυμητό πάχος.

Για χαρτί, πλαστικό ή φύλα αλουμινίου, χρησιμοποιούμε ακτίνες β διότι οι ακτίνες α δεν μπορούν να διαπεράσουν το χαρτί. Ως ραδιενεργό πηγή επιλέγουμε ένα στοιχείο με μεγάλο χρόνο ημιζωής ώστε να μη χρειάζεται συχνή αντικατάσταση.

## ➤ Αποστείρωση



Οι **ακτίνες γ** μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και μετά το πακετάρισμα ορισμένων τροφίμων μέσα στις συσκευασίες τους για να σκοτώσουν τα μικρόβια και τα έντομα στα τρόφιμα.

Η διαδικασία αυτή μεγαλώνει το χρόνο μέσα στον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα τρόφιμα αυτά, αλλά μερικές φορές αλλοιώνει τη γεύση.

Οι ακτίνες γ χρησιμοποιούνται επίσης για να αποστειρώσουν ιατρικές συσκευές και ειδικότερα πλαστικές σύριγγες, οι οποίες θα καταστρέφονταν αν θερμαίνονταν.

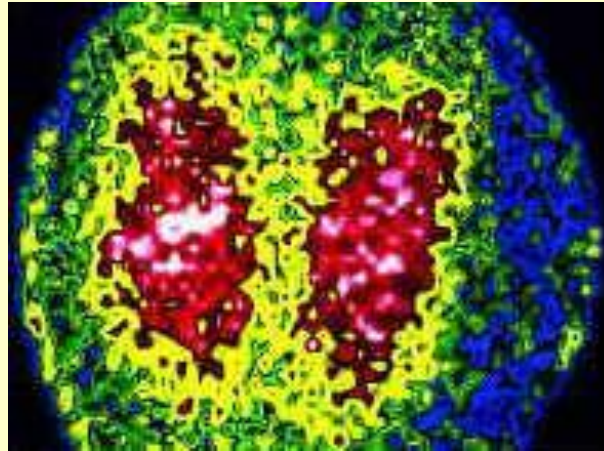
## ➤ Χρονολόγηση με ραδιοϊσότοπα



Τα ζώα και τα φυτά έχουν στους ιστούς τους μια σταθερή και γνωστή αναλογία του **Άνθρακα-14**. Όταν πεθάνουν σταματούν να προσλαμβάνουν άνθρακα. Τότε η ποσότητα του Άνθρακα-14 μειώνεται με την πάροδο του χρόνου με συγκεκριμένο και γνωστό ρυθμό. (Ο Άνθρακας-14 έχει χρόνο ημιζωής 5700 χρόνια.)

Η ηλικία του αρχαίου οργανικού υλικού μπορεί να υπολογιστεί αν μετρήσουμε την ποσότητα του Άνθρακα-14 που έχει απομείνει σήμερα.

## ➤ Ιχνηθέτες



Σπινθηρογράφημα.  
Απεικόνιση με  
ακτίνες  $\gamma$ .

Ο πιο γνωστός ιχνηθέτης είναι το **Τεχνήτιο-99**, το οποίο είναι πολύ ασφαλές διότι **εκπέμπει μόνο ακτίνες  $\gamma$**  και δεν προκαλεί σημαντικό ιονισμό.

Τα ραδιοϊσότοπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ιατρικούς σκοπούς, όπως για παράδειγμα στην αναζήτηση ενός αποφραγμένου νεφρού. Για να πετύχουμε κάτι τέτοιο, εισάγεται με ένεση στον ασθενή μια μικρή ποσότητα Ιωδίου-123. Μετά από 5 λεπτά, δύο μετρητές Geiger τοποθετούνται πάνω από τους νεφρούς.

Τα ραδιοϊσότοπα επίσης χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για να ανιχνεύσουμε διαρροές από σωλήνες. Για να το πετύχουμε αυτό, διοχετεύουμε μια μικρή ποσότητα ραδιενεργού ιχνηθέτη μέσα στο σωλήνα. Μετά προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε την τυχούσα διαφυγή του από τον σωλήνα με ένα μετρητή GM πάνω από το έδαφος.

## ➤ Έλεγχος συγκολλήσεων μετάλλων

Όταν μια πηγή ακτίνων  $\gamma$  τοποθετηθεί από τη μια πλευρά ενός μετάλλου που έχει κολληθεί και ένα φωτογραφικό φιλμ από την άλλη πλευρά, τα καταπονημένα σημεία της κόλλησης είτε οι φυσαλίδες αέρα που έχουν παγιδευτεί εντός αυτής, θα απεικονίζονται στο φιλμ όπως σε μια ακτινογραφία.

## ➤ Αντιμετώπιση και Θεραπεία καρκίνων



Ραδιοθεραπεία

Επειδή οι **ακτίνες γ** μπορούν να νεκρώνουν ζωντανά κύτταρα, χρησιμοποιούνται για να **θανατώνουν καρκινικά κύτταρα**, χωρίς να καταφεύγουμε σε δύσκολες χειρουργικές μεθόδους. Η μέθοδος αυτή λέγεται **ραδιοθεραπεία** και είναι αποτελεσματική επειδή τα καρκινικά κύτταρα δεν μπορούν να αυτοεπισκευαστούν όταν πάθουν κάποιες ζημιές από τις ακτίνες γ, πράγμα που μπορούν να κάνουν τα υγιή κύτταρα.

**Είναι σημαντικό να δώσουμε στον ασθενή τη σωστή δόση.** Μεγάλη δόση ακτινοβολίας θα καταστρέψει πάρα πολλά υγιή κύτταρα, ενώ πολύ μικρή δεν θα καταφέρει να σταματήσει την εξάπλωση των καρκινικών κυττάρων με την πάροδο του χρόνου.

Μερικά είδη καρκίνου είναι ευκολότερο να τα αντιμετωπίσουμε με ραδιοθεραπεία. Δεν είναι δύσκολο να κατευθύνουμε τις **ακτίνες γ** προς έναν **όγκο στο μαστό**, αλλά προκειμένου για καρκίνο πνευμόνων είναι πολύ δυσκολότερο να αποφύγουμε και την καταστροφή υγιών κυττάρων. Οι **πνεύμονες** επίσης καταστρέφονται πιο εύκολα από τις ακτίνες γ, και γι αυτό εκεί **προτιμάμε άλλες μεθόδους**.

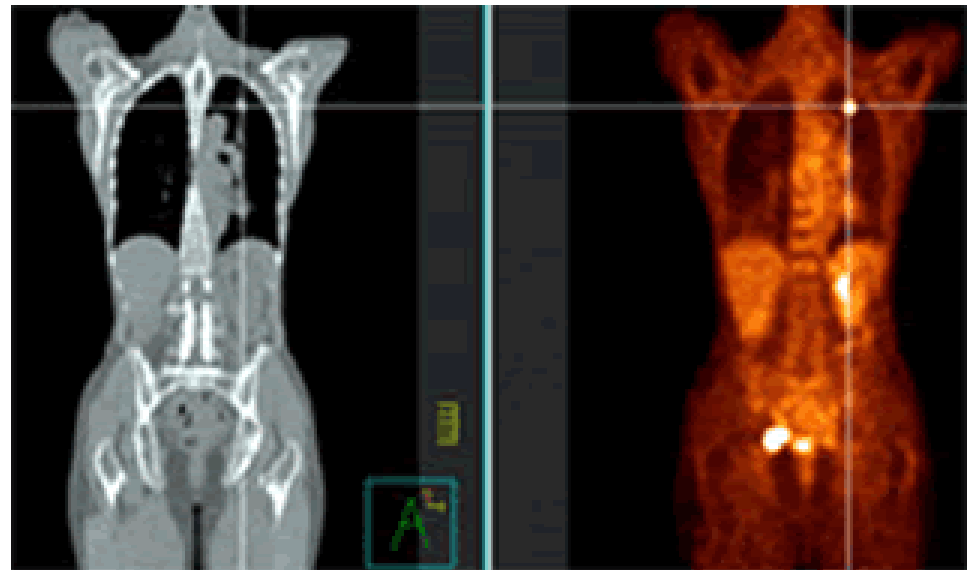


## Απεικόνιση Πυρηνικής Ιατρικής

Η Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί τα **ραδιοϊσότοπα**, με τη μορφή ραδιοφαρμάκων, που χορηγούνται στον εξεταζόμενο με κατάποση, με ένεση ή με εισπνοή. Το **ραδιοφάρμακο** διαχέεται στο σώμα σύμφωνα με την κατάσταση του οργανισμού εκείνη τη στιγμή, αλλά και σύμφωνα με τους νόμους του μεταβολισμού. Κατάλληλα τοποθετημένος **εξωτερικός ανιχνευτής** (γ camera) συλλέγει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία (που παράγεται κατά την αποδιέγερση του ραδιοϊσοτόπου) που διαπερνά το σώμα του εξεταζόμενου και **δημιουργεί εικόνες προβολής** (ημι-διέλευσης).



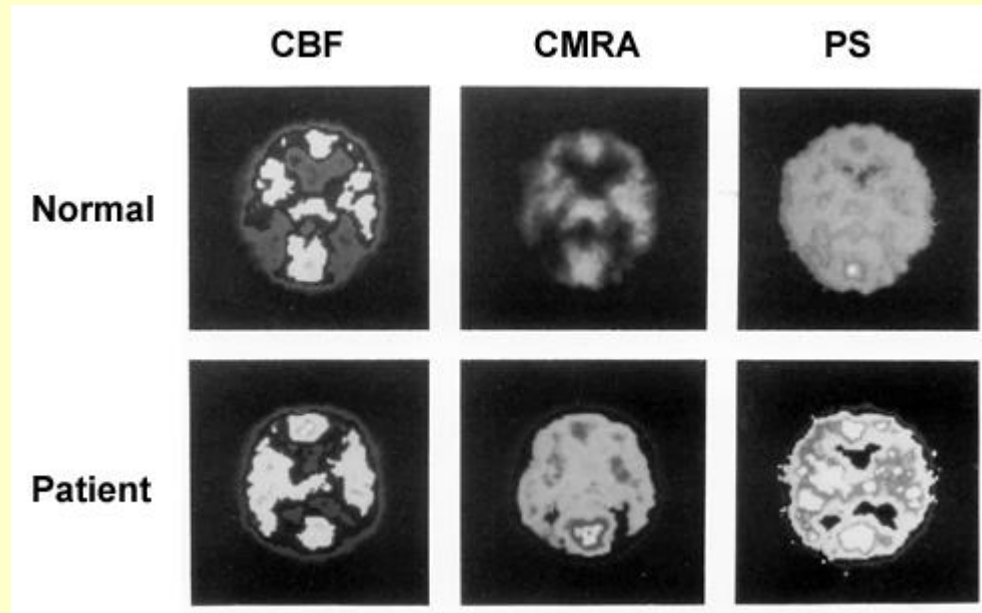
## *Positron Emission Tomograph (PET)*



CT scan shows the anatomy.

PET scan shows increased cellular activity indicating cancer.

Combined, PET/CT pinpoints cancer anatomically.



*Τμήματα εγκεφάλου ανδρός  
φυσιολογικού και αλκοολικού*

*Τμήματα εγκεφάλου ανδρός  
φυσιολογικού και σχιζοφρενούς*

