



ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ

Ο ατομικός πυρήνας

ή

σύγχρονη αλχημεία...

Ε. Παντελής

Επικ. Καθηγητής,
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,
Ιατρική Σχολή Αθηνών.

Εργαστήριο προσομοίωσης
210-746 2343

vpantelis@phys.uoa.gr

<http://eclass.uoa.gr/courses/MED732/>

Να θυμηθούμε

- Μαζικός αριθμός A = αριθμός πρωτονίων και νετρονίων στον πυρήνα
- Ατομικός αριθμός Z = αριθμός πρωτονίων στον πυρήνα

$$A = Z + N$$

- Συμβολισμός στοιχείου : A_ZX
(το όνομα του στοιχείου το καθορίζει ο ατομικός αριθμός δηλαδή οι χημικές ιδιότητες)
- ΣΧΕΣΗ ΜΑΖΑΣ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ $E = mc^2$

Ο πυρήνας του ατόμου, σύσταση-μάζα

Πυρήνας = p^+ και n **περιορισμένα** σε μια περιοχή του ατόμου

Μάζα πυρήνα?

Πίνακας 1 Φορτίο, μάζα και ενέργεια ηρεμίας των τριών βασικότερων υποατομικών σωματιδίων.

	Φορτίο	Μάζα (kg)	Μάζα (u)	Ενέργεια ηρεμίας (MeV/c ²)
Ηλεκτρόνιο	-e	$9,109 \cdot 10^{-31}$	$5,48597 \cdot 10^{-4}$	0,511
Πρωτόνιο	+e	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,008665	938,27
Νετρόνιο	0	$1,674 \cdot 10^{-27}$	1,007277	939,57

$$m_{atom}(Z, A) \cong A u \cong A \text{ GeV} / c^2$$

$$m_{nucleus}(Z, A)c^2 = m_{atom}(Z, A)c^2 + b_e - Z \times m_e c^2$$

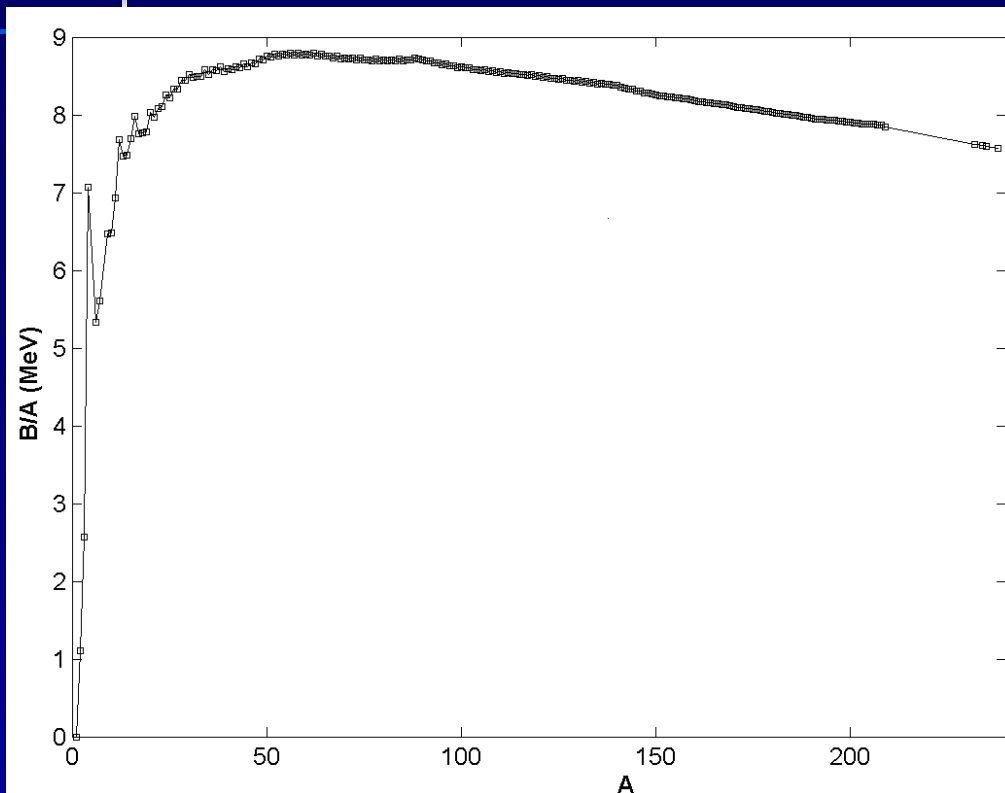
Ο πυρήνας του ατόμου, έλλειμμα μάζας-ενέργεια σύνδεσης

$$B = \{Z \times m_p + N \times m_n - m_{nucleus}(Z, A)\} \times c^2$$

$$B = \{Z \times (m_p + m_e) + (A - Z) \times m_n - m_{atom}(Z, A)\} \times c^2$$
$$= \{Z \times m_{1H} + (A - Z) \times m_n - m_{atom}(Z, A)\} \times c^2$$

Μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης → αυξημένη σταθερότητα...?

Ο πυρήνας του ατόμου, σταθερότητα



- Μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης **ανά νουκλεόνιο**
➔ αυξημένη σταθερότητα
- Αν εξαιρέσουμε τα άτομα μικρού Z , $B \sim A$

Ο πυρήνας του ατόμου, μεταστοιχειώσεις

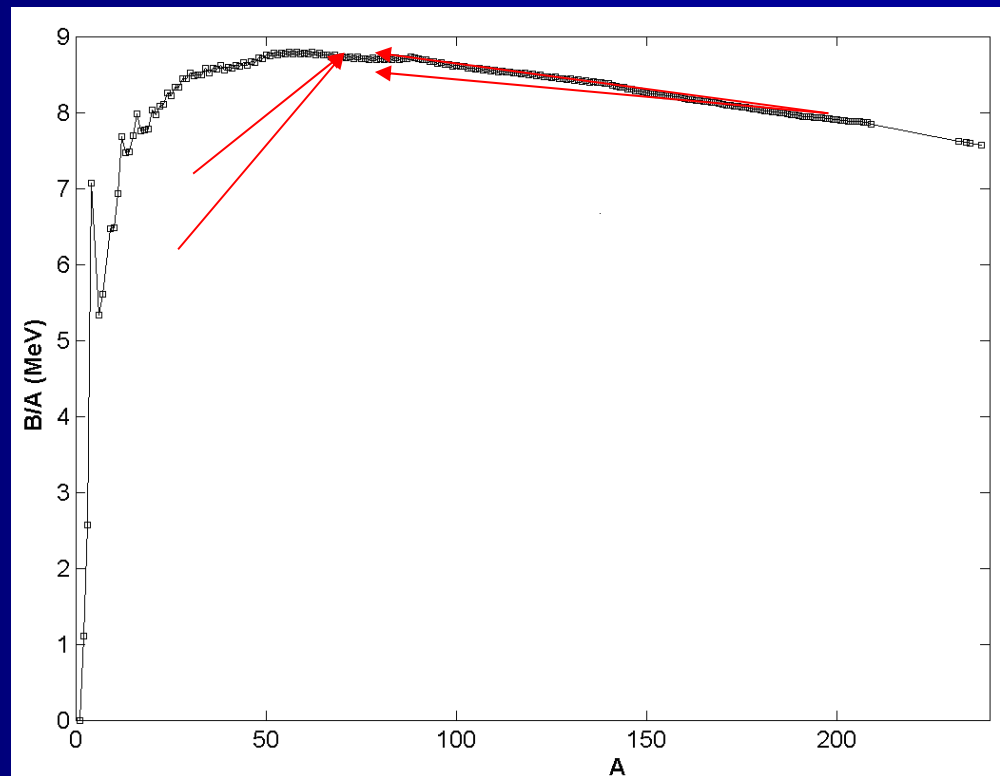
➤ Αρχή ελάχιστης ενέργειας

➤ Νουκλίδια με μεγάλο A:

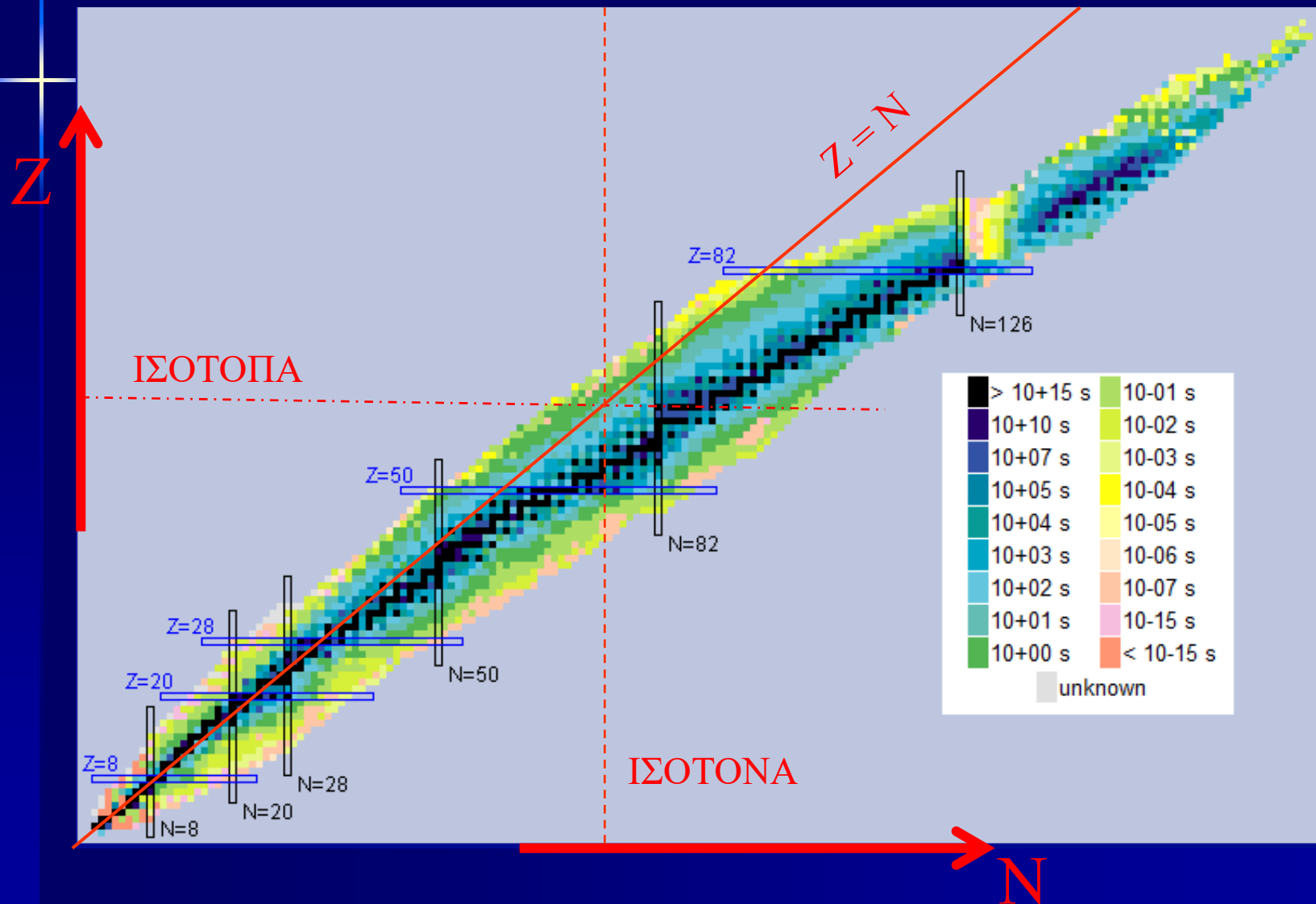
Σχάση

➤ Νουκλίδια με μικρό A:

Σύντηξη



Ο πυρήνας του ατόμου, ο χάρτης των νουκλιδίων – διάγραμμα Segre



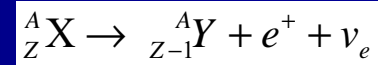
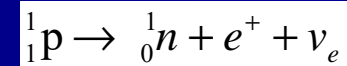
Ο πυρήνας του ατόμου, μεταστοιχειώσεις

Γενικά μεταξύ ισοβαρών (νουκλίδια με ίδιο A):

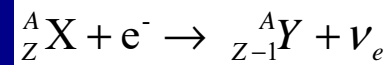
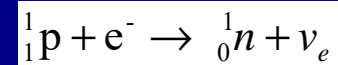
➤ Αποβολή πλεονάζοντος νουκλεονίου

➤ α διάσπαση: ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$

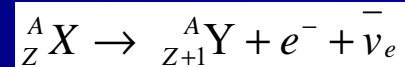
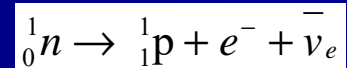
➤ Πλεόνασμα πρωτονίων \rightarrow β^+ διάσπαση:



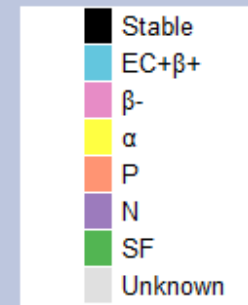
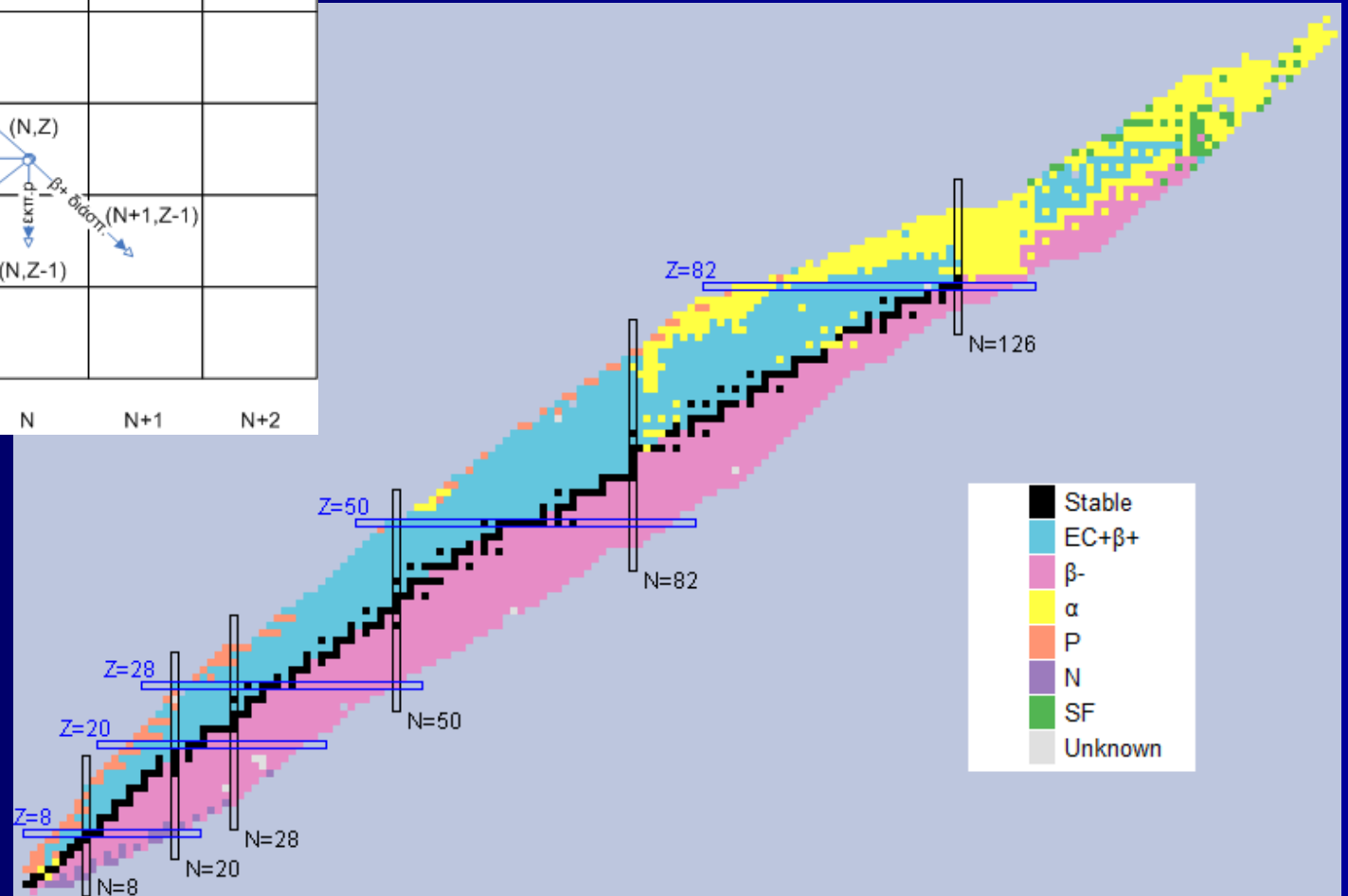
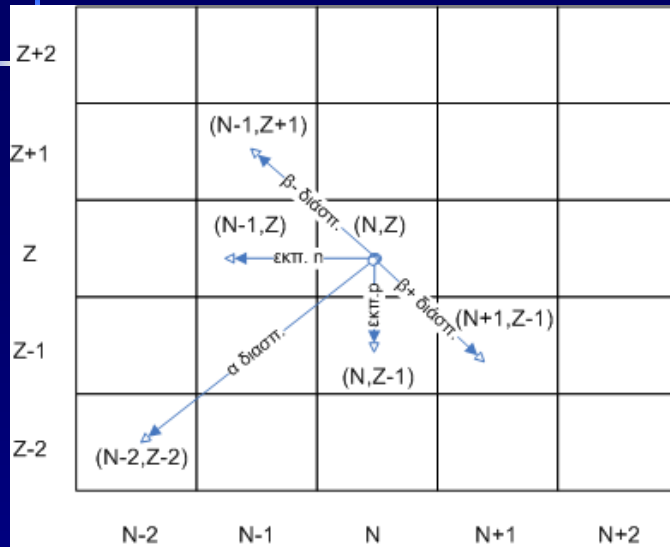
\rightarrow Σύλληψη ηλεκτρονίου:



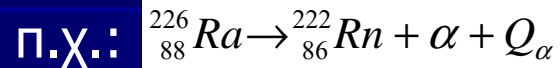
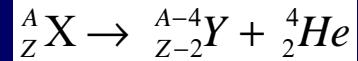
➤ Πλεόνασμα νετρονίων \rightarrow β^- διάσπαση:



Ο πυρήνας του ατόμου, ο χάρτης των νουκλιδίων – διάγραμμα Segre



Ραδιενεργές διασπάσεις, διάσπαση α



Α.Δ.Ε.:

$$m_X c^2 + K_X = m_Y c^2 + K_Y + m_\alpha c^2 + K_\alpha$$

$$m_X c^2 - m_Y c^2 - m_\alpha c^2 = K_Y + K_\alpha$$

Q τιμή, $Q > 0$ για αυθόρμητη διάσπαση

Α.Δ.Ο.:

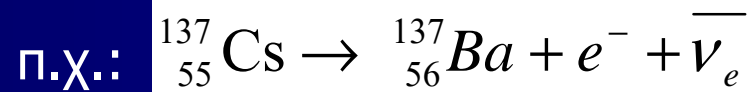
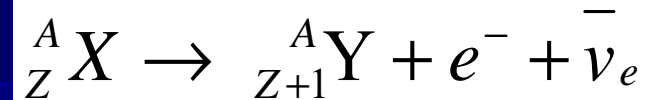
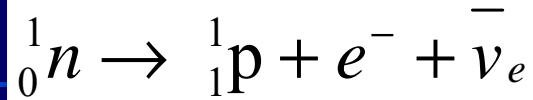
$$\vec{p}_X = 0 = \vec{p}_Y + \vec{p}_\alpha$$

$$\frac{K_\alpha}{K_Y} = \frac{m_Y}{m_\alpha} \cong \frac{A-4}{4}$$

$$K_\alpha \cong Q_\alpha \left(1 - \frac{4}{A}\right) \quad \text{και} \quad K_Y \cong Q_\alpha \frac{4}{A}$$

Το σωματίο α εκπέμπεται με συγκεκριμένη E

Ραδιενεργές διασπάσεις, διάσπαση β^-



Α.Δ.Ε.:

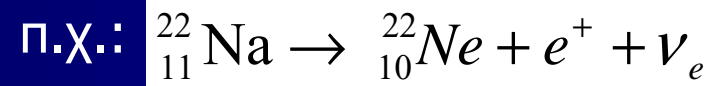
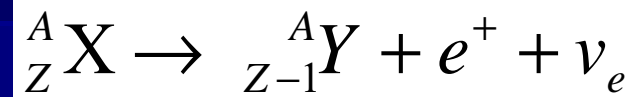
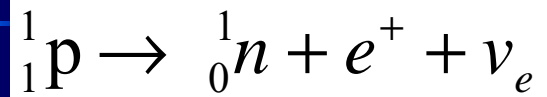
$$Q_{\beta^-} = K_Y + K_{\beta^-} + K_{\bar{\nu}_e}$$

Α.Δ.Ο.:

$$\vec{p}_X = 0 = \vec{p}_Y + \vec{p}_{\beta^-} + \vec{p}_{\bar{\nu}}$$

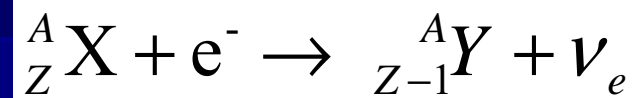
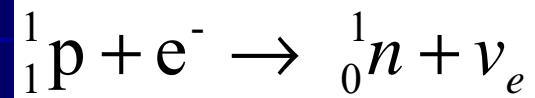
Το ηλεκτρόνιο εμφανίζει **φάσμα** ενεργειών

Ραδιενεργές διασπάσεις, διάσπαση β^+



Ομοίως με τη β^- , το ποζιτρόνιο εμφανίζει **φάσμα** ενεργειών

Ραδιενεργές διασπάσεις, σύλληψη ηλεκτρονίου



Α.Δ.Ε.:

$$Q_{EC} = K_Y + K_\nu$$

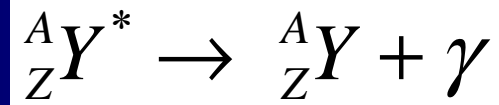
Α.Δ.Ο.:

$$\vec{p}_X = 0 = \vec{p}_Y + \vec{p}_\nu$$

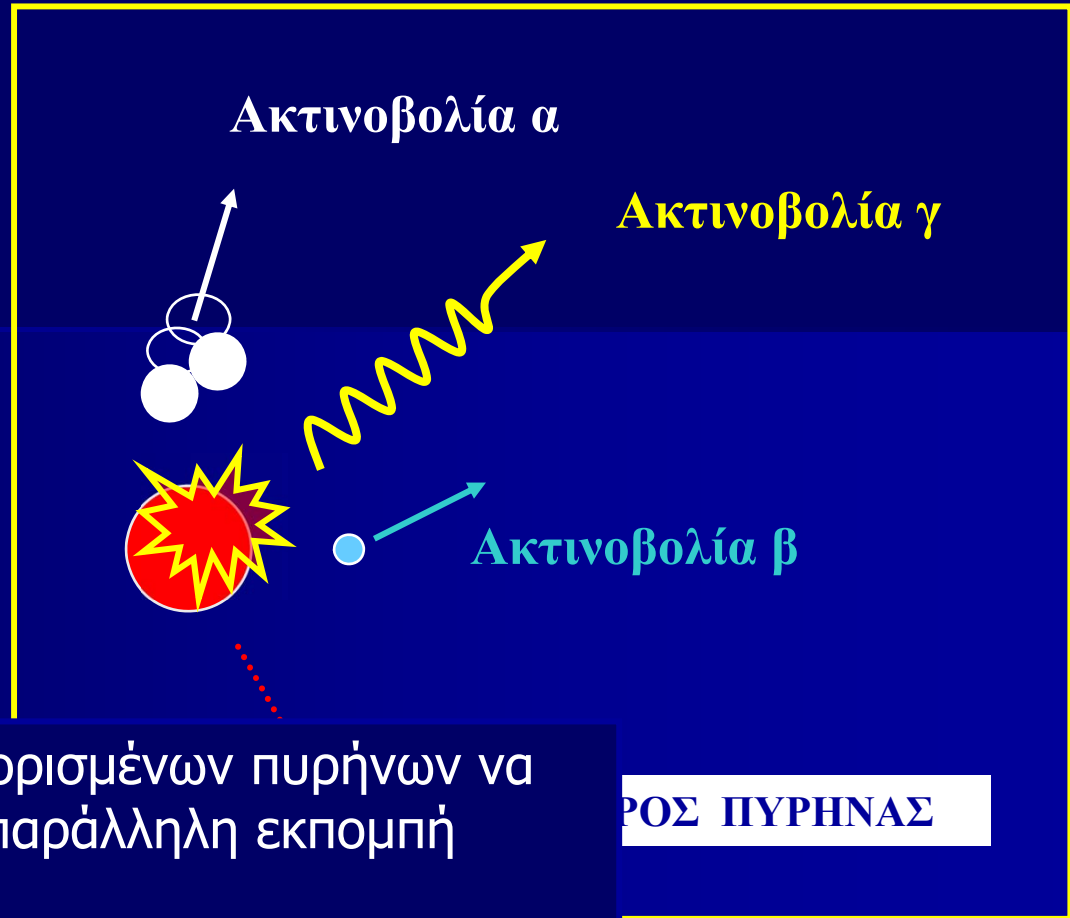
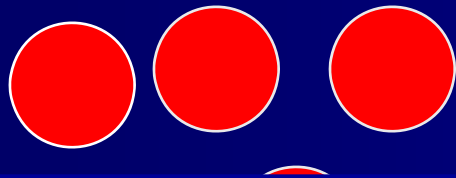
Το νεutrino λαμβάνει σχεδόν το σύνολο της ενέργειας

Ραδιενεργές διασπάσεις, γ διάσπαση & εσωτερική μετατροπή

Κατά τις παραπάνω διασπάσεις ο θυγατρικός πυρήνας είναι πιθανό να σχηματιστεί με ενέργεια μεγαλύτερη αυτής της θεμελιώδους του κατάστασης.



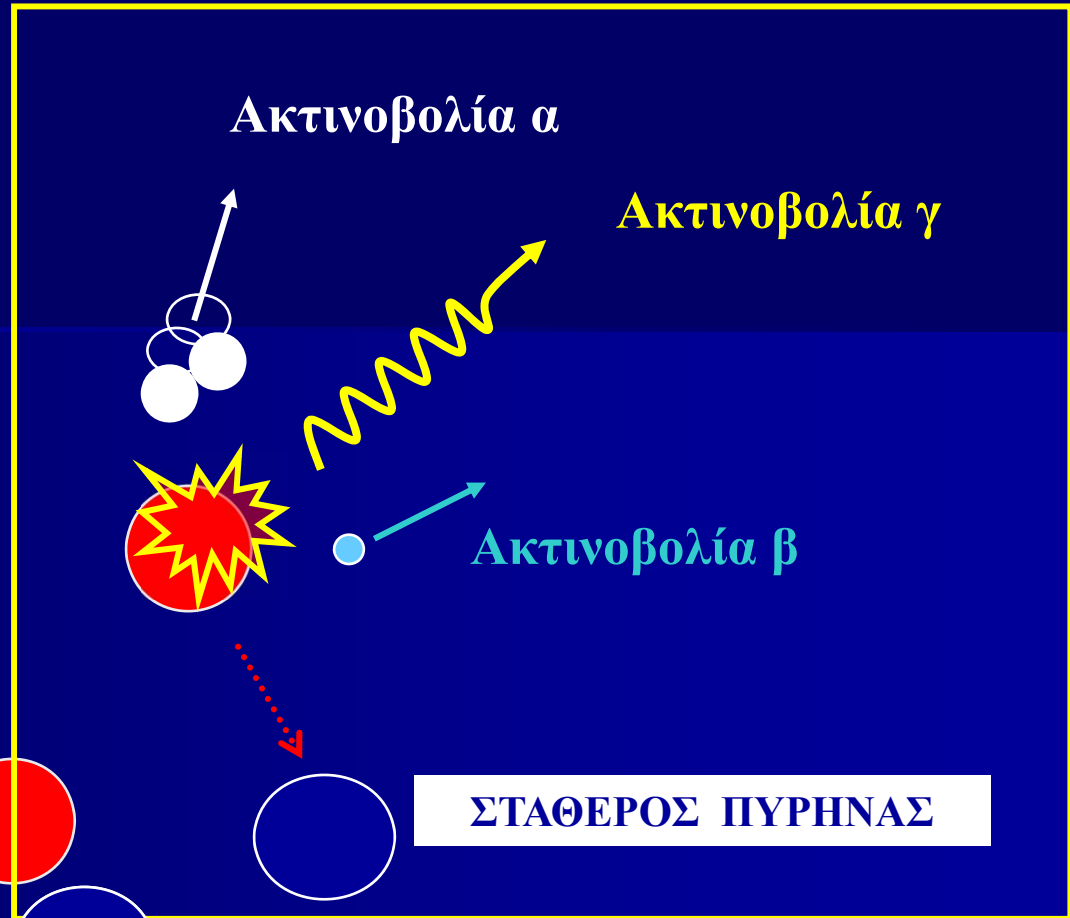
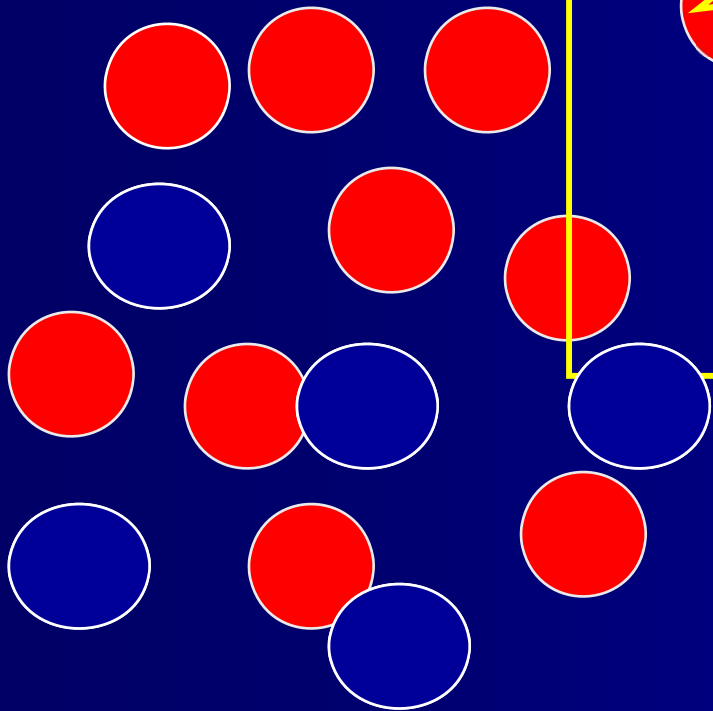
ΑΣΤΑΘΕΙΣ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΙ
ΠΥΡΗΝΕΣ



- **Ραδιενέργεια** : ιδιότητα ορισμένων πυρήνων να διασπώνται **αυθόρμητα** με παράλληλη εκπομπή ακτινοβολίας
- **Ακτινοβολία** : ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος (φωτονίου) ή σωματιδίων

ΡΓΕΙΑ

**ΑΣΤΑΘΕΙΣ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΙ
ΠΥΡΗΝΕΣ**



ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο νόμος της εκθετικής διάσπασης

Έστω ότι μια χρονική στιγμή σε ένα δείγμα περιέχονται N ραδιενεργοί πυρήνες. Πόσοι θα διασπαστούν μετά από παρέλευση χρόνου Δt ;

$$\begin{aligned} -\Delta N &= N - N' = \lambda N \Delta t \\ \Rightarrow \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right) &= -\lambda N \end{aligned}$$

Όπου λ η αποκαλούμενη **σταθερά διάσπασης** που αποτελεί μέτρο της πιθανότητας να διασπαστεί **δεδομένο είδος** ραδιενεργού πυρήνα

Ορίζεται **ενεργότητα** ραδιενεργού δείγματος το φυσικό μέγεθος που ισούται με τον αριθμό διασπάσεων στη μονάδα του χρόνου:

$$A(t) = \left(\frac{dN}{dt} \right) = -\lambda N$$

και έχει μονάδες Bq (1 διάσπαση ανά sec)

Εκθετική συμπεριφορά εμφανίζει οποιοδήποτε μέγεθος, y , για το οποίο ο ρυθμός μεταβολής του ως προς μια μεταβλητή, x , από την οποία συναρτάται είναι ανάλογος της τιμής του μεγέθους.

Αν: $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \pm \beta y$
 $\rightarrow \frac{dy}{dx} = \pm \beta y$ Τότε: $y = y_0 e^{\pm \beta x}$

Επομένως αφού: $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$ Τότε: $N = N_0 e^{-\lambda t}$

Όπου χρόνος υποδιπλασιασμού: $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$