



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

Π. Παπαγιάννης
Αν. Καθηγητής,
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,
Ιατρική Σχολή Αθηνών
Κτίριο 5, Γραφείο 21



210 746 2442



ppapagi@med.uoa.gr



<https://eclass.uoa.gr/>

MED1114

Ο ατομικός πυρήνας

ή

σύγχρονη αλχημεία...

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

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

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

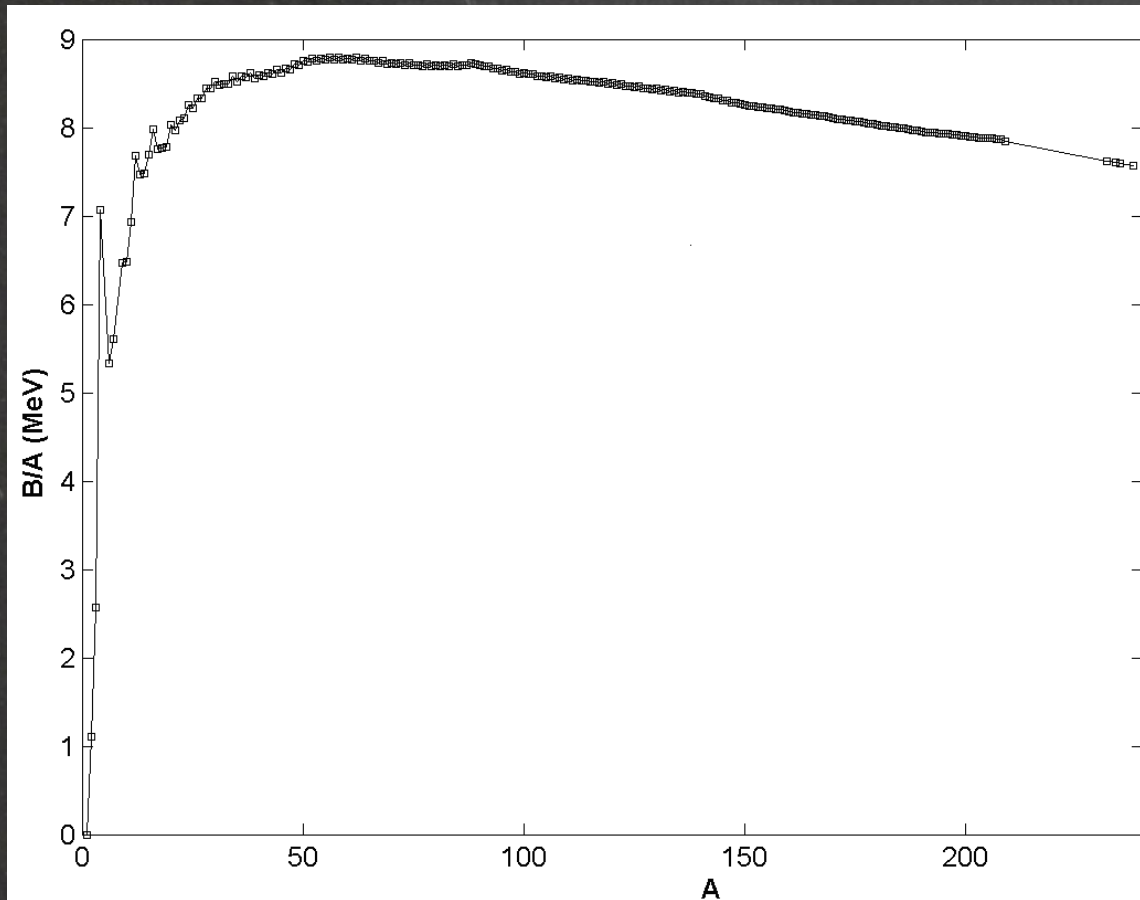
Ο πυρήνας του ατόμου, έλλειμμα μάζας-ενέργεια σύνδεσης

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

$$B = \{Z \times (m_p + m_e) + (A - Z) \times m_n - m_{atom}(Z, A)\} \times c^2$$
$$= \{Z \times m_{^1_1H} + (A - Z) \times m_n - m_{atom}(Z, A)\} \times c^2$$

Μεγαλύτερη ενέργεια σύνδεσης → αυξημένη σταθερότητα...?

Ο πυρήνας του ατόμου, σταθερότητα



➤ Μεγαλύτερη ενέργεια
σύνδεσης **ανά νουκλεόνιο**



αυξημένη σταθερότητα

➤ $B \sim A$

➤ Γιατί η B/A έχει αυτή τη
μορφή?

➤ Είναι όλα τα ισοβαρή
νουκλίδια εξίσου σταθερά?

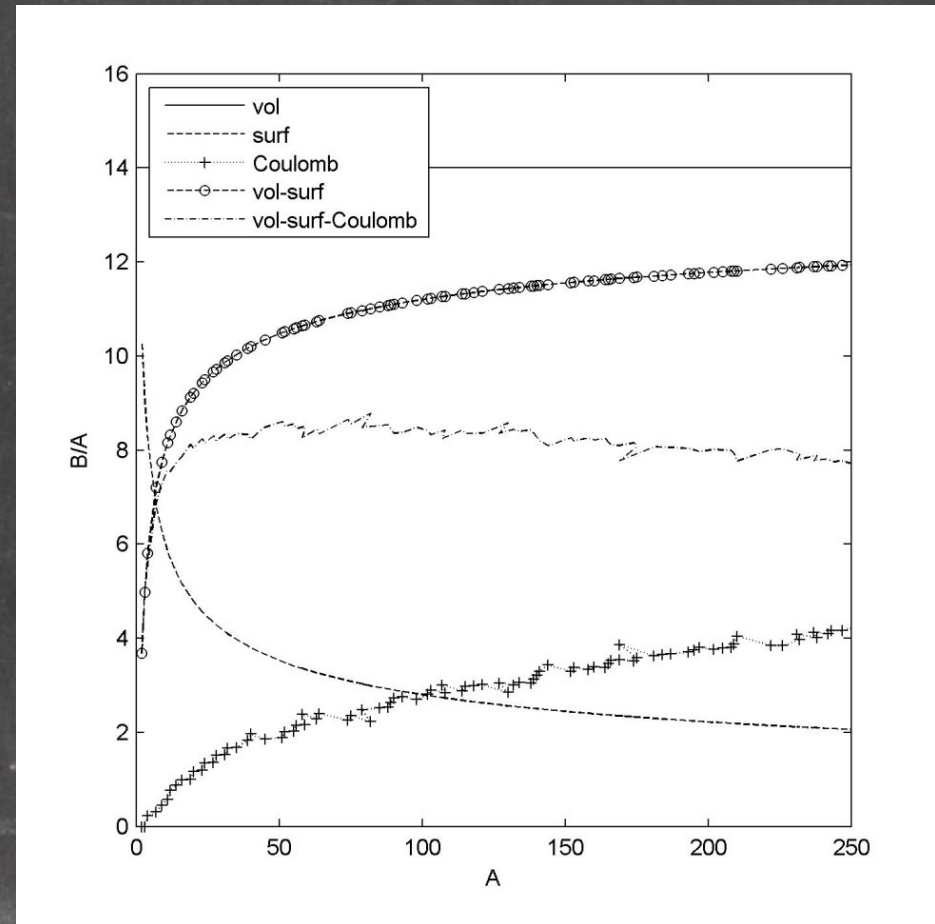
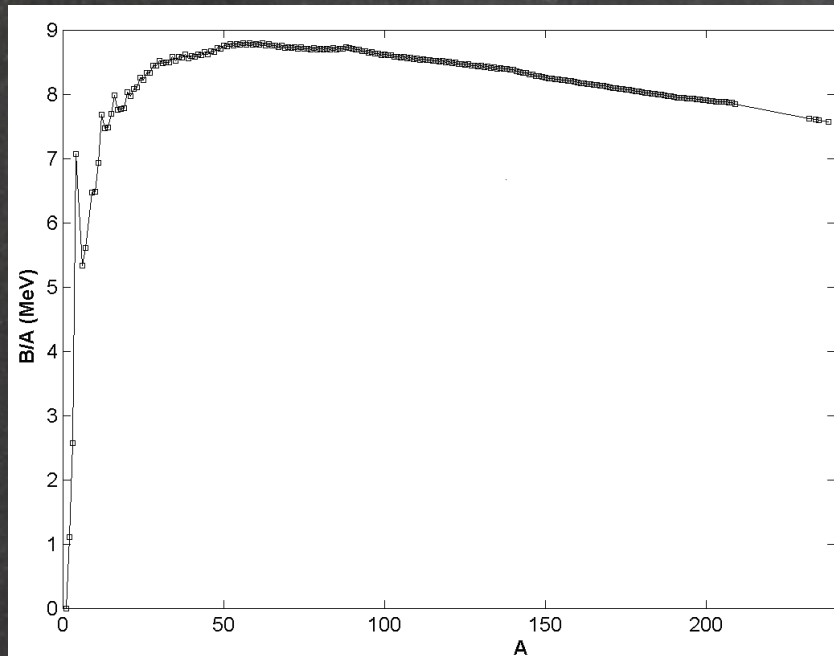
Ο πυρήνας του ατόμου, το πυρηνικό μοντέλο της σταγόνας υγρού

υγρό	πυρήνας
Δυνάμεις Van Der Waals	Ισχυρή πυρηνική δύναμη
Ελεύθερη σταγόνα υγρού έχει σφαιρικό σχήμα	$R = R_0 \times A^{1/3}$
Σταθερή πυκνότητα	$d \cong 10^{14} \text{ gcm}^{-3}$

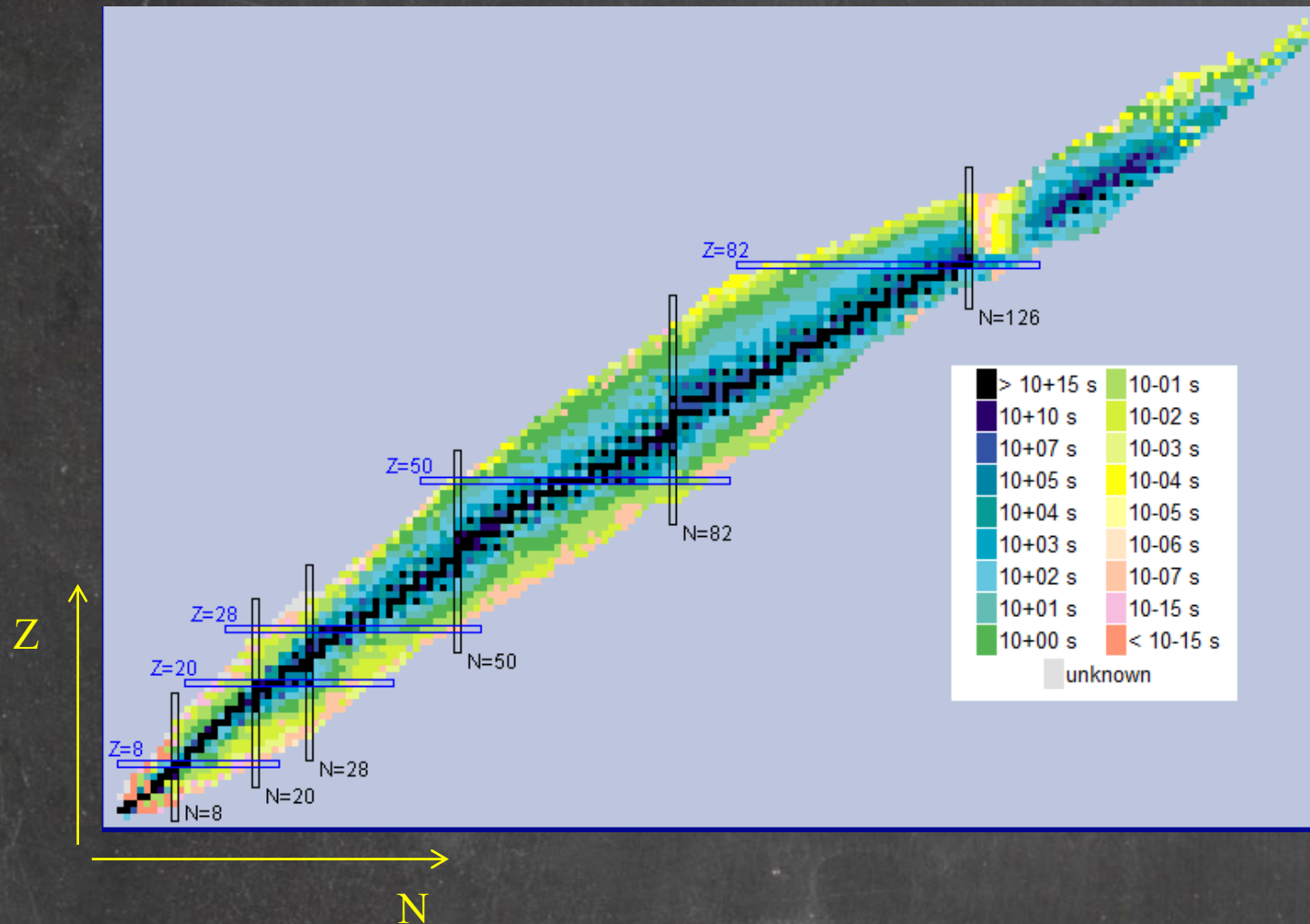
$$B(Z, A) = \alpha_{\text{Volume}} A - \alpha_{\text{Surface}} A^{2/3}$$

Ο πυρήνας του ατόμου, ημι-εμπειρική σχέση Weizsacker

$$B(Z, A) = \alpha_{Volume} A - \alpha_{Surface} A^{2/3} - \alpha_{Coulomb} \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - \alpha_{Asymmetry} \frac{(A-2Z)^2}{A} - \alpha_{Pairing} \delta A^{-3/4} + a_{Z,N}$$



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



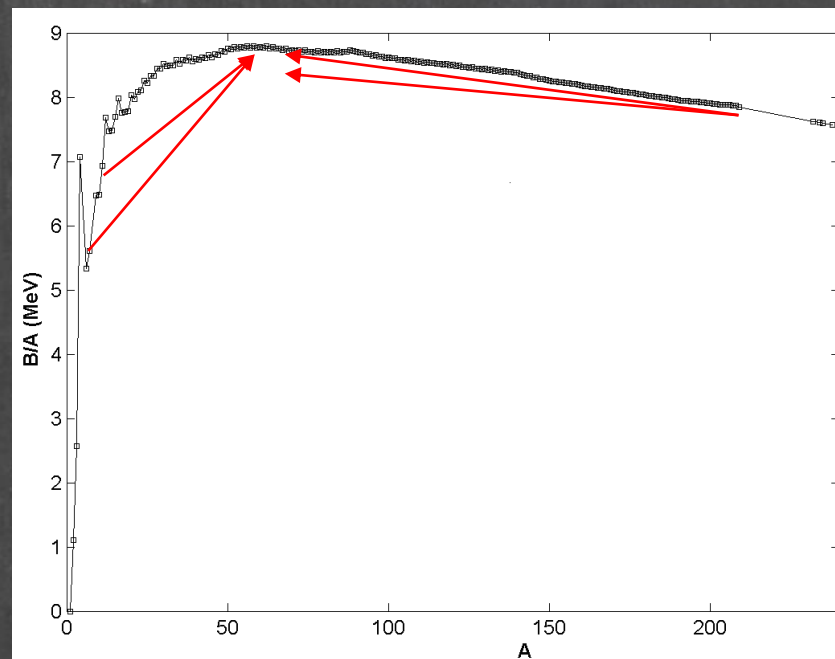
Ο πυρήνας του ατόμου, μεταστοιχειώσεις

➤ Νουκλίδια με μεγάλο A:

Σχάση

➤ Νουκλίδια με μικρό A:

Σύντηξη



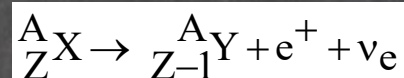
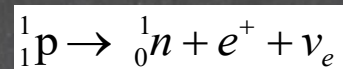
Ο πυρήνας του ατόμου, μεταστοιχειώσεις

Γενικά μεταξύ **ισοβαρών** (νουκλίδια με ίδιο A):

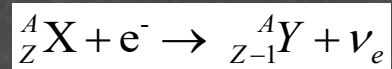
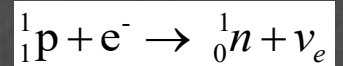
➤ Αποβολή πλεονάζοντος νουκλεονίου (σπάνια)

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

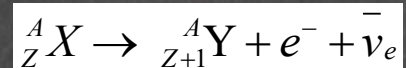
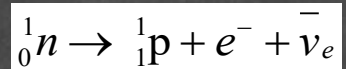
➤ Πλεόνασμα πρωτονίων → β⁺ διάσπαση:



→ Σύλληψη ηλεκτρονίου:

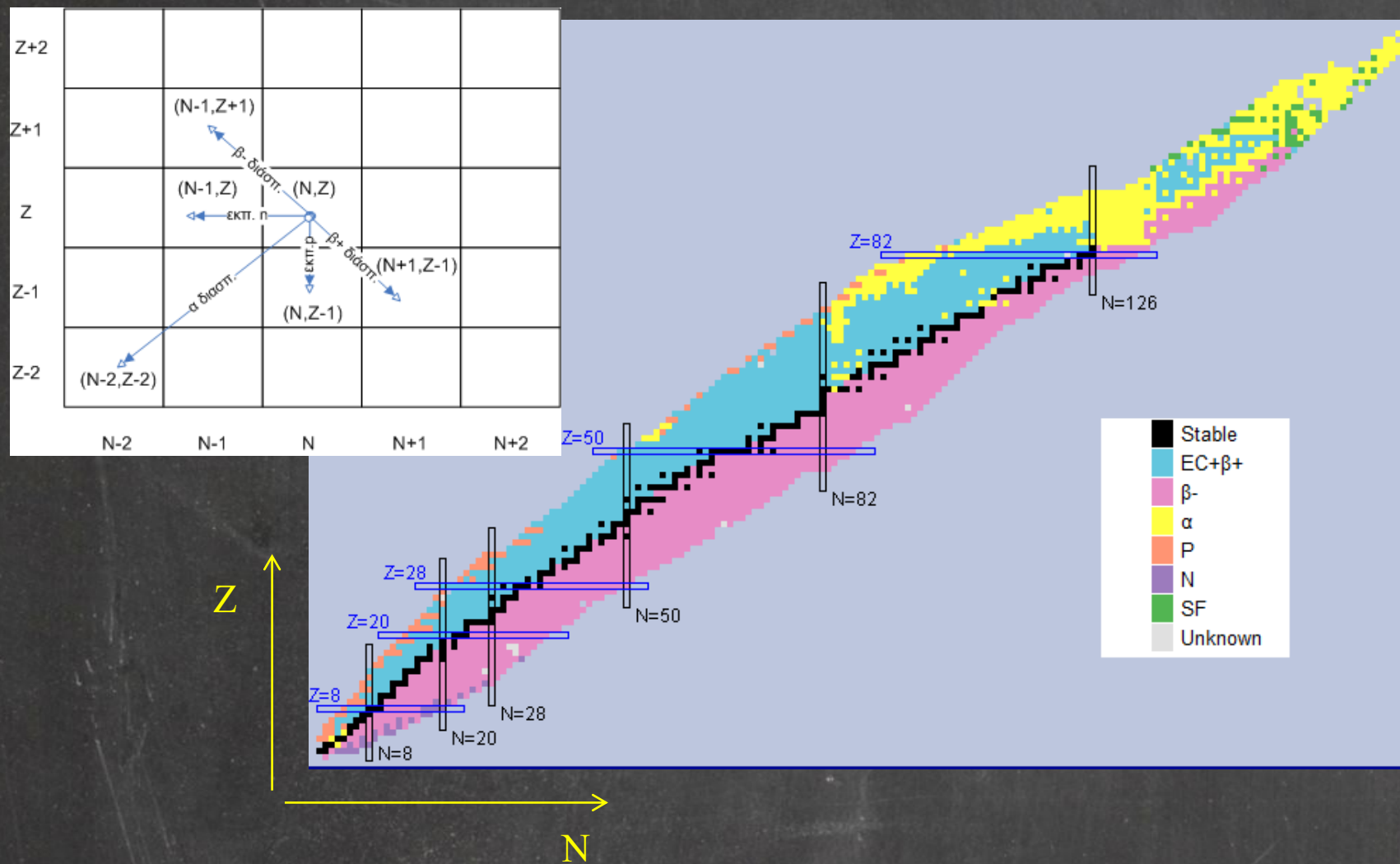


➤ Πλεόνασμα νετρονίων → β⁻ διάσπαση:

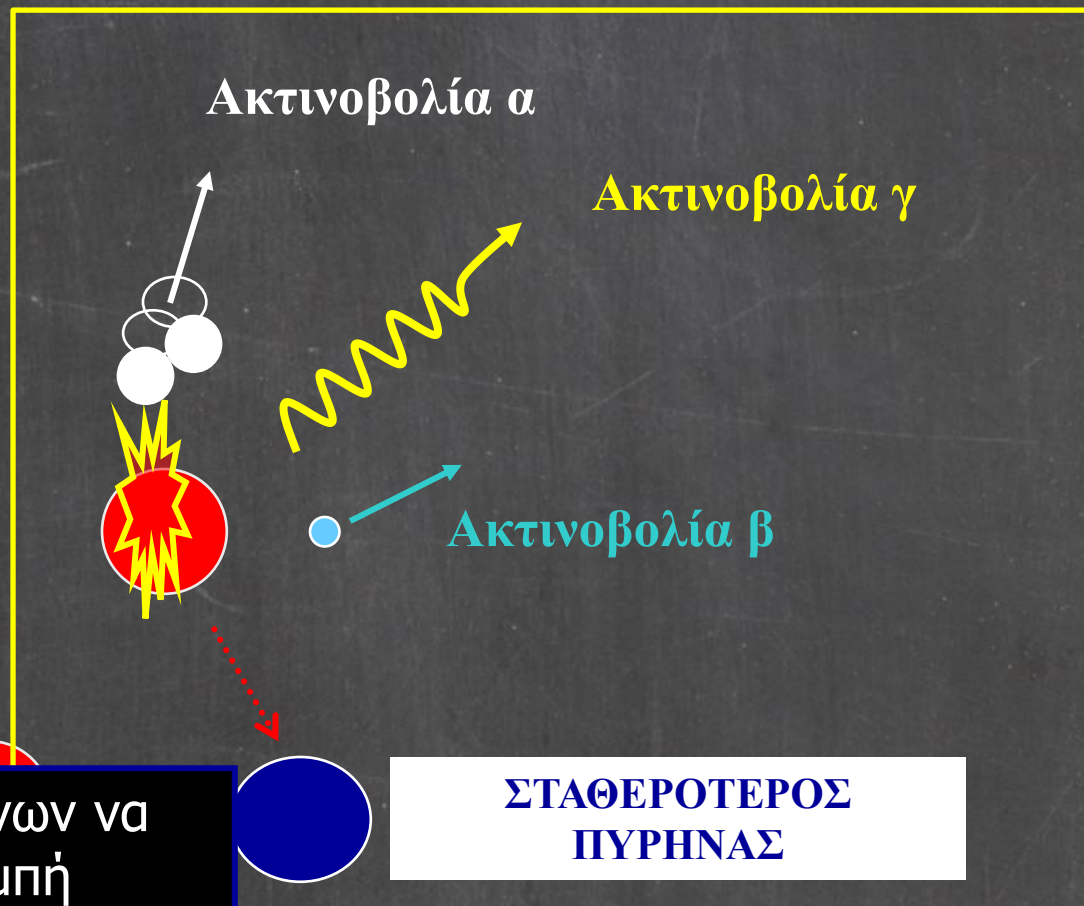
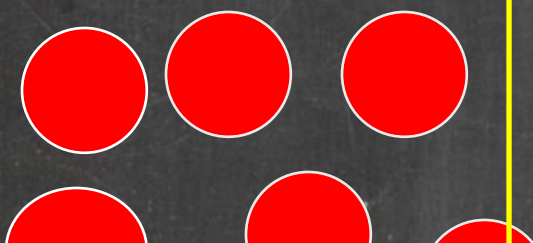


➤ Διάσπαση γ ...;

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



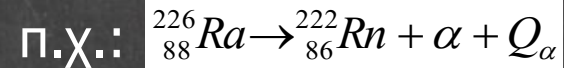
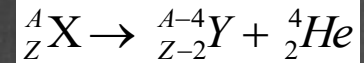
ΑΣΤΑΘΕΙΣ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΙ
ΠΥΡΗΝΕΣ



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

Ραδιενέργεια – ακτινοβολίες α, β, γ

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.:

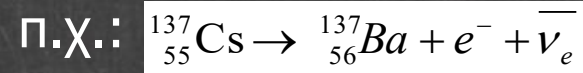
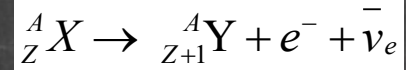
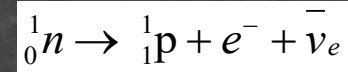
$$\vec{p}_X = 0 = \vec{p}_Y + \vec{p}_\alpha$$

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

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

Το σωματίο α εκπέμπεται με συγκεκριμένη E

Ραδιενεργές διασπάσεις, διάσπαση β^-



Α.Δ.Ε.:

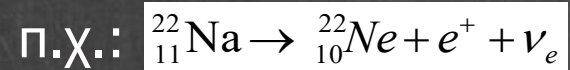
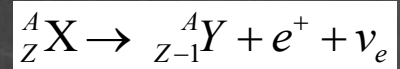
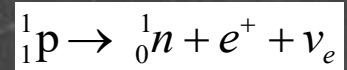
$$Q_{\beta^-} = K_Y + K_{\beta^-} + K_{\bar{\nu}_e}$$

Α.Δ.Ο.:

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

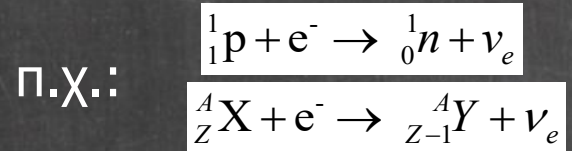
Το ηλεκτρόνιο εμφανίζει **φάσμα** ενεργειών

Ραδιενεργές διασπάσεις, διάσπαση β^+



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

Ραδιενεργές διασπάσεις, σύλληψη ηλεκτρονίου



Α.Δ.Ε.:

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

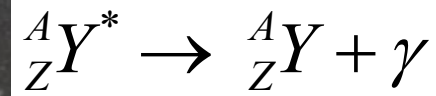
Α.Δ.Ο.:

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

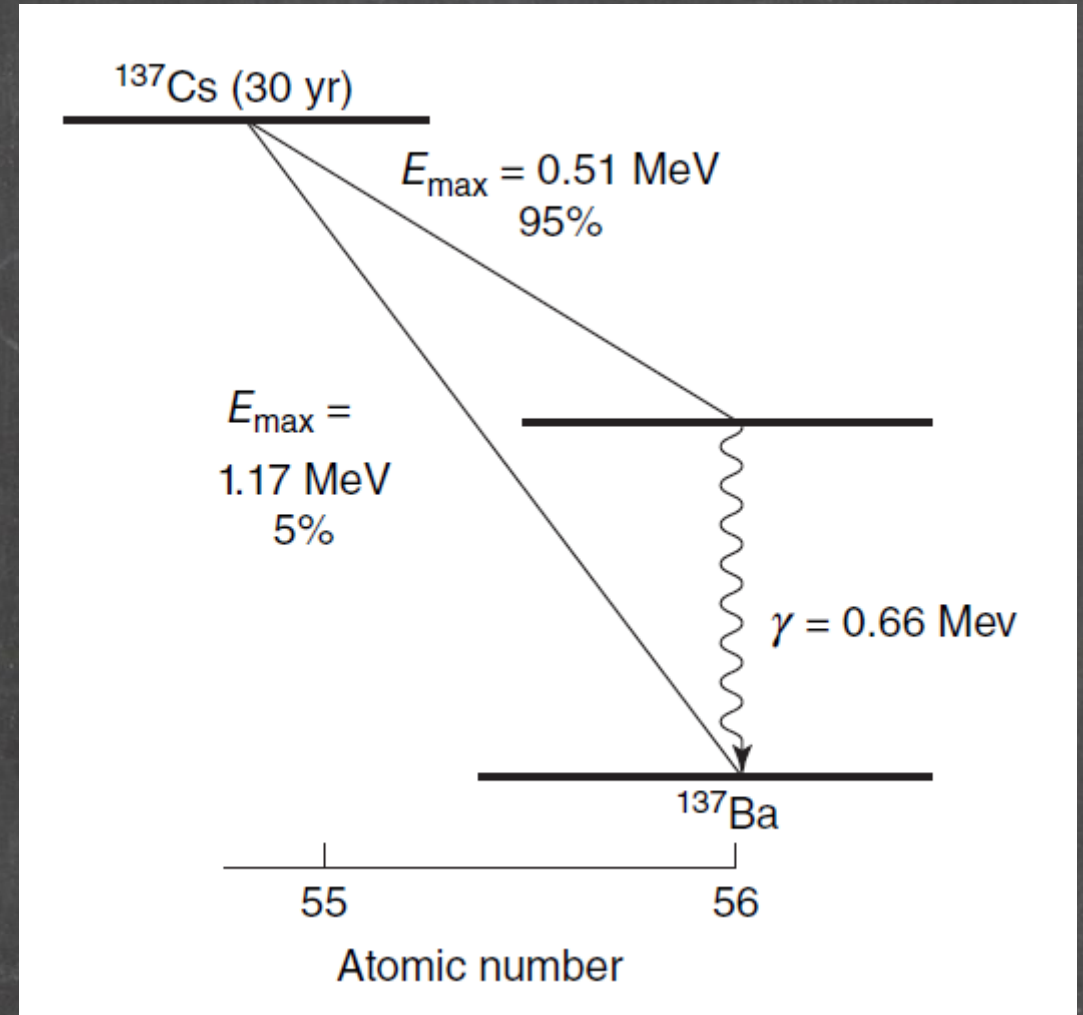
Το νεutrino λαμβάνει σχεδόν το σύνολο της ενέργειας

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.



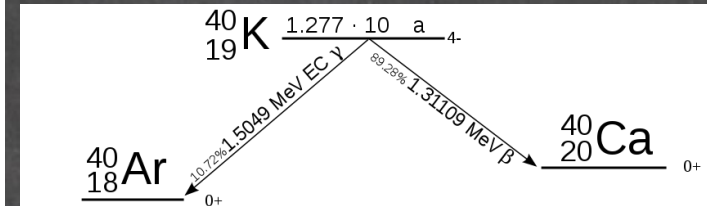
Είναι επίσης πιθανό η επιπλέον ενέργεια να αποβληθεί με την εκπομπή ενός ηλεκτρονίου (εσωτερική μετατροπή)



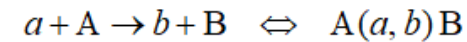
Φυσική ραδιενέργεια

Ραδιενεργός σειρά του:	Πατρικό νουκλίδιο	Πρώτη διάσπαση	Χρόνος ημιζωής (x10 ⁹ έτη)	Σταθερό τελικό θυγατρικό νουκλίδιο
Θορίου	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{228}_{88}\text{Ra} + ^4_2\text{He}$	14,05	$^{208}_{82}\text{Pb}$
Ακτινίου	$^{235}_{92}\text{U}^*$	$^{231}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$	0,704	$^{207}_{82}\text{Pb}$
Νεπτονίου	$^{237}_{93}\text{Np}$	$^{233}_{91}\text{Pa} + ^4_2\text{He}$	2,144 x 10 ⁻³	$^{209}_{83}\text{Bi}$
Ουρανίου	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$	4,47	$^{206}_{82}\text{Pb}$

* (το ^{235}U είχε ονομαστεί αρχικά ακτινο-ουράνιο)



Τεχνητή ραδιενέργεια

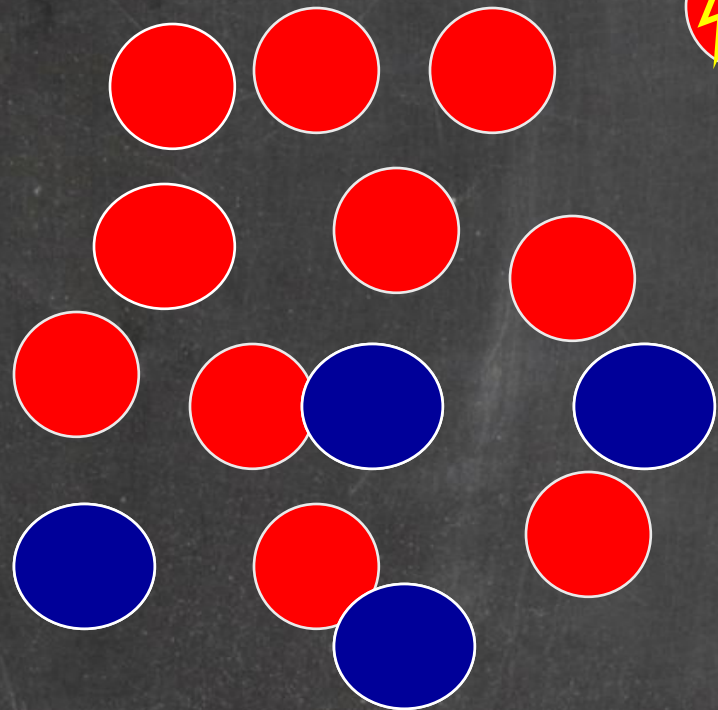


Ραδιενεργό ισότοπο	Πυρηνική αντίδραση παραγωγής	Ενεργός διατομή	Q τιμή (MeV)	t _{1/2}	Εφαρμογή
^{60}Co	$^{59}_{27}\text{Co}(n, \gamma)^{60}_{27}\text{Co}$	37,2*	-	5,27 y	Ακτινοθεραπεία-βραχυθεραπεία
^{192}Ir	$^{191}_{77}\text{Ir}(n, \gamma)^{192}_{77}\text{Ir}$	954*	-	73,8 d	Βραχυθεραπεία
^{99}Mo	$^{98}_{42}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}_{42}\text{Mo}$	0,13*	-	66 h	Πυρηνική ιατρική (γεννήτρια $^{99\text{m}}\text{Tc}$)
^{11}C	$^{14}_7\text{N}(p, a)^{11}_6\text{C}$	+	-2,92	20,4 m	Πυρηνική ιατρική (PET)
^{13}N	$^{16}_8\text{O}(p, a)^{13}_7\text{N}$	+	-5,22	10 m	''
^{15}O	$^{15}_7\text{N}(p, n)^{15}_8\text{O}$	+	-3,54	2,1 m	''
^{18}F	$^{18}_8\text{O}(p, n)^{18}_9\text{F}$	+	-2,44	110 m	''

* για θερμικά νετρόνια

+ εξαρτάται από την ενέργεια των p

**ΑΣΤΑΘΕΙΣ
ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΟΙ
ΠΥΡΗΝΕΣ**



Ακτινοβολία α



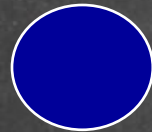
Ακτινοβολία γ



Ακτινοβολία β



**ΣΤΑΘΕΡΟΤΕΡΟΣ
ΠΥΡΗΝΑΣ**



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 ;

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 ;

$$-\Delta N = N - N' = \lambda N \Delta t$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right) = -\lambda N$$

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)

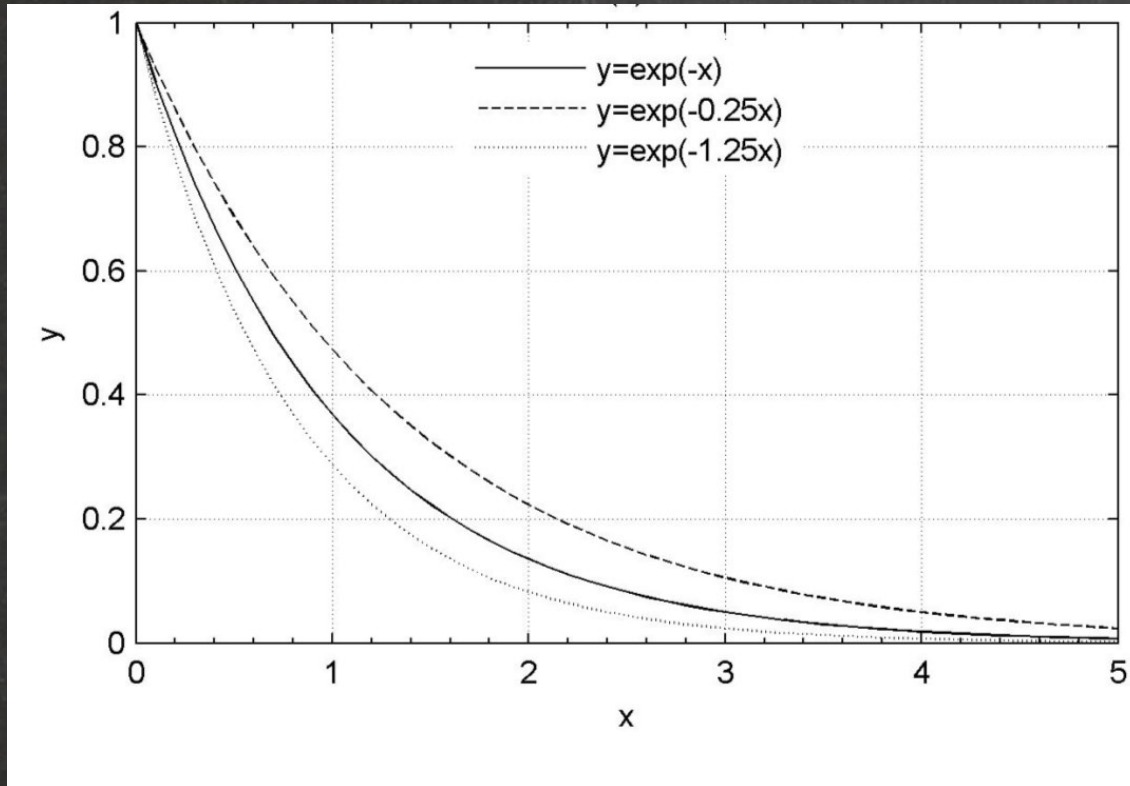
Εκθετική συμπεριφορά εμφανίζει οποιοδήποτε μέγεθος, y , για το οποίο ο ρυθμός μεταβολής του ως προς μια μεταβλητή, x , από την οποία συναρτάται είναι ανάλογος της τιμής του μεγέθους.

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

Εκθετικές συναρτήσεις

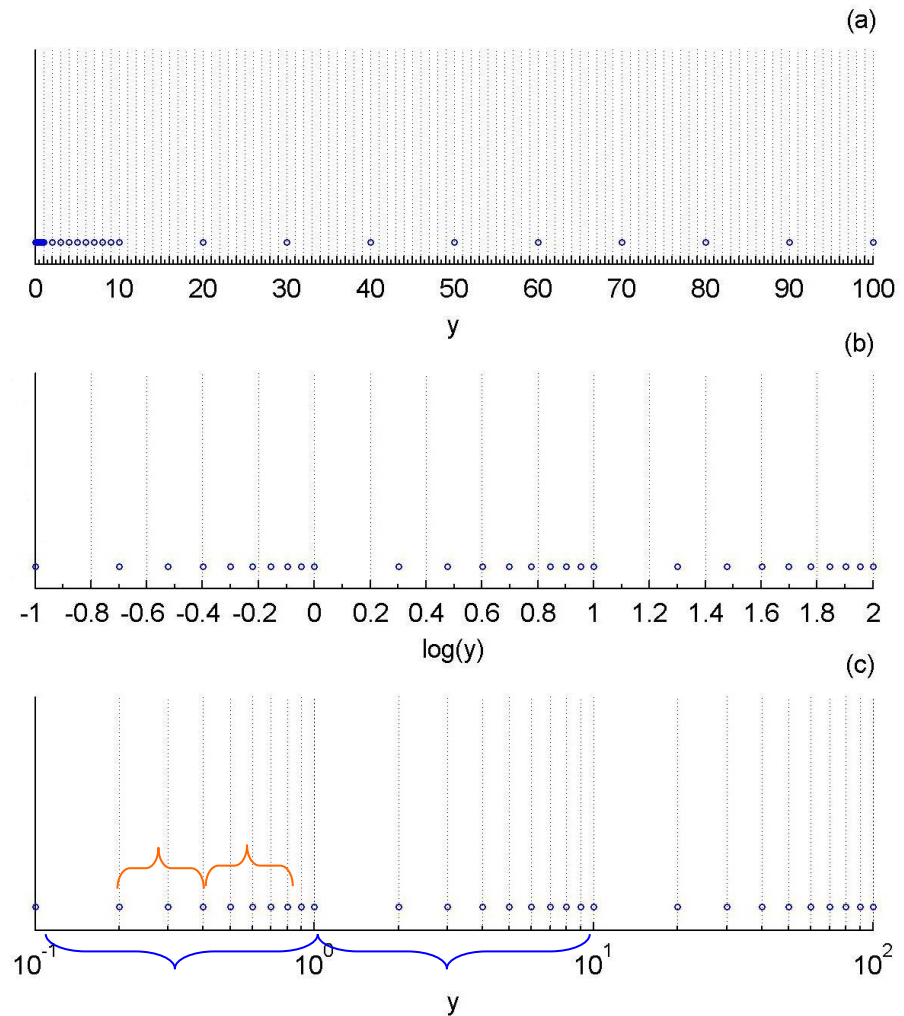
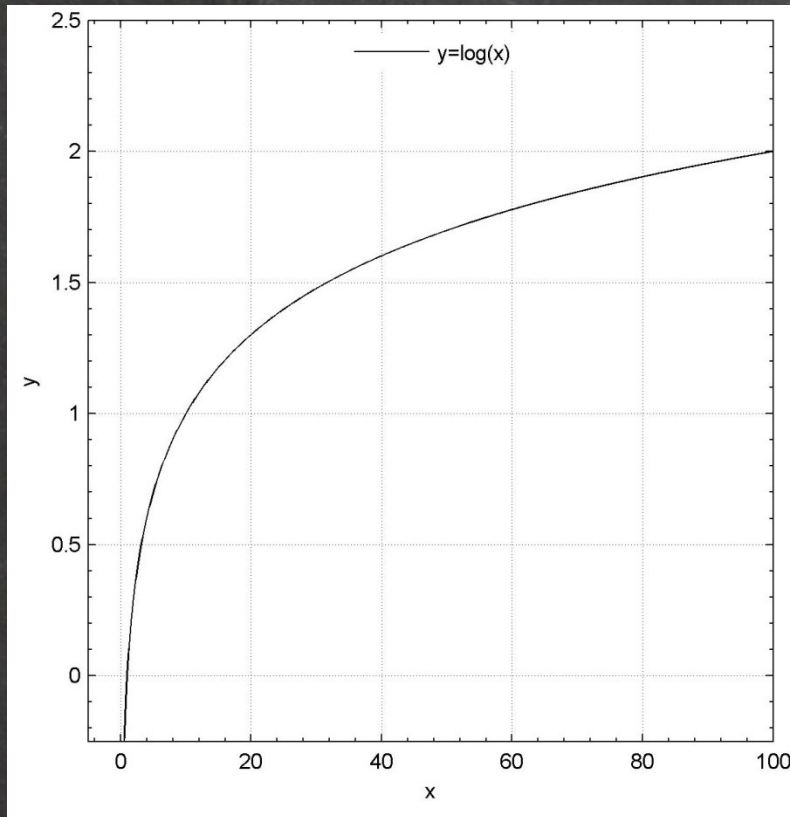


ΠΡΟΒΛΗΜΑ:
Ραγδαία μεταβολή τιμών

Εκθετικές συναρτήσεις και ημιλογαριθμικές κλίμακες ...

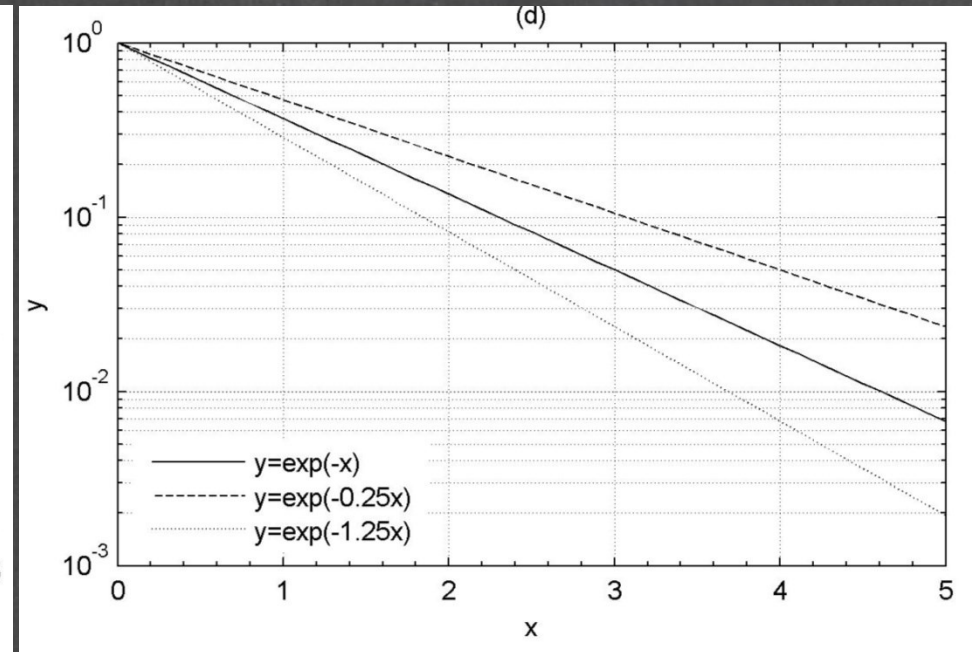
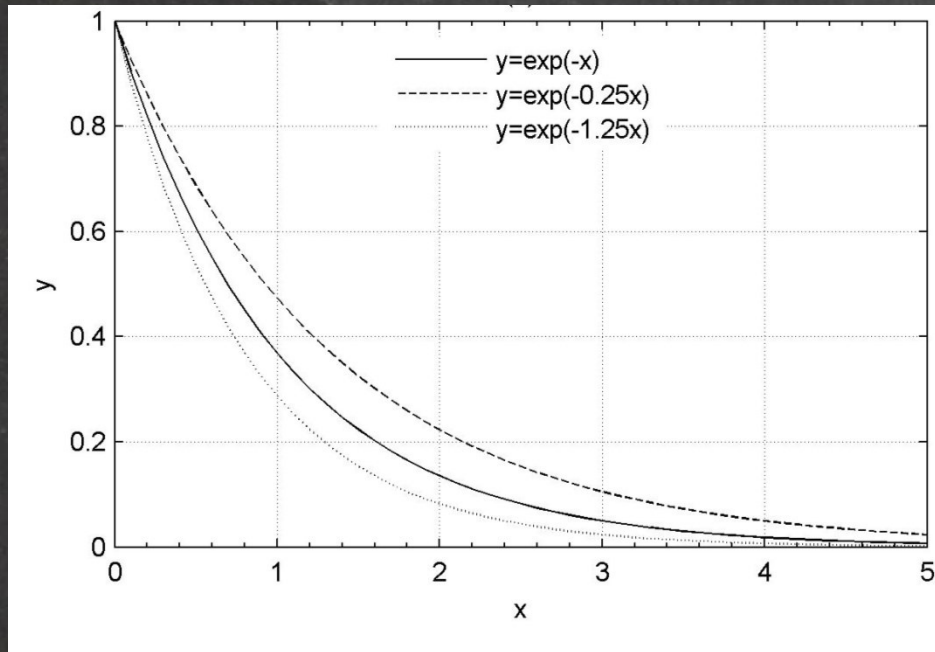
ΛΥΣΗ:

Λογαριθμική συνάρτηση



Εκθετικές συναρτήσεις και ημι-λογαριθμικές κλίμακες ...

$$y = y_0 e^{\pm \beta x} \Rightarrow$$
$$\log y = \log(y_0 e^{\pm \beta x}) = \log y_0 + \log(e^{\pm \beta x}) \Leftrightarrow \log y = \log y_0 \pm (\beta \log e) x$$



Υλικό περαιτέρω μελέτης

- § 4, Κεφάλαιο 1 Συγγράμματος
- Ερωτήσεις κατανόησης
- Υλικό διαθέσιμο στο HyperPhysics (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/index.html>) που σχετίζεται με την «Πυρηνική Φυσική» ΚΑΙ τα θέματα που συζητήθηκαν σε αυτή την παρουσίαση

