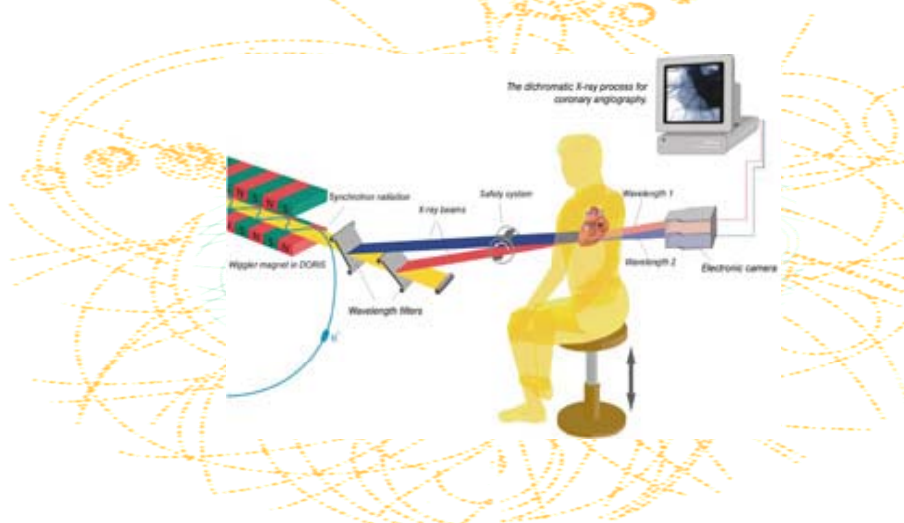


## Εφαρμογές των Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών στην Ιατρική & τη Βιολογία

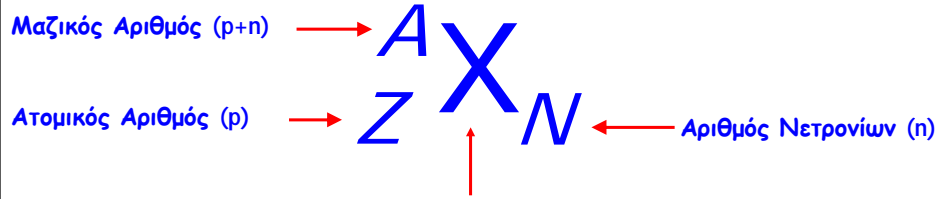


<http://www.physics.ntua.gr/~yorgos/med/index.php>

### Βιβλιογραφία

- Ε. Ν. Γαζής, *Ιοντιζουσες Ακτινοβολίες - Εφαρμογές στη Βιολογία & Ιατρική*.
- Glenn F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons.
- Hernam Cember, *Introduction to Health Physics*, McGraw Hill.
- Nicholas Tsoulfanidis, *Measurement and Detection of Radiation*, Taylor & Francis.
- C.H. Wang, D.L. Willis, W.D. Loveland, *Radiotracer Methodology in the Biological, Environmental and Physical Sciences*, Prentice-Hall
- W.R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Springer&Verlag

## Μαζικός & Ατομικός Αριθμός



Σύμβολο στοιχείου στο περιοδικό σύστημα

Πυρήνες με τον ίδιο αριθμό **πρωτονίων** είναι τα **ισότοπα**  
 Πυρήνες με τον ίδιο **μαζικό** αριθμό είναι οι **ισοβαρείς**  
 Πυρήνες με τον ίδιο αριθμό **νετρονίων** είναι οι **ισότονοι**

Γ. Τσιπολίτης

## Μαζικός & Ατομικός Αριθμός

**ισοβαρείς**  $\rightarrow$

**ισότοπα**  $\rightarrow$

				<b>16 Ne</b> $2p=100\%$	<b>17 Ne</b> $\beta^+=100\%$	<b>18 Ne</b> $\beta^+=100\%$	<b>19 Ne</b> $\beta^+=100\%$	<b>20 Ne</b> Abundance=90.4%
			<b>14 F</b> $p?$	<b>15 F</b> $p=100\%$	<b>16 F</b> $p=100\%$	<b>17 F</b> $\beta^+=100\%$	<b>18 F</b> $\beta^+=100\%$	<b>19 F</b> Abundance=100%
		<b>12 O</b> $2p=60\%$	<b>13 O</b> $\beta^+=100\%$	<b>14 O</b> $\beta^+=100\%$	<b>15 O</b> $\beta^+=100\%$	<b>16 O</b> Abundance=99.757%	<b>17 O</b> Abundance=0.038%	<b>18 O</b> Abundance=0.205%
	<b>10 H</b> $p?$	<b>11 H</b> $p=100\%$	<b>12 H</b> $\beta^+=100\%$	<b>13 H</b> $\beta^+=100\%$	<b>14 H</b> Abundance=99.632%	<b>15 H</b> Abundance=0.368%	<b>16 H</b> $\beta^+=100\%$	<b>17 H</b> $\beta^+=100\%$
	<b>9 C</b> $\beta^+=100\%$	<b>10 C</b> $\beta^+=100\%$	<b>11 C</b> $\beta^+=100\%$	<b>12 C</b> Abundance=98.93%	<b>13 C</b> Abundance=1.07%	<b>14 C</b> $\beta^+=100\%$	<b>15 C</b> $\beta^+=100\%$	<b>16 C</b> $\beta^+=100\%$

Γ. Τσιπολίτης

## Ενεργός Διατομή ( $\sigma$ )

- Ενεργός Διατομή ( $\sigma$ ) για σκέδαση από στόχο ενός σωματιδίου:

$$\sigma = \frac{\text{σκεδαζόμενη ροή σωματιδίων}}{\text{προσπίπτουσα ροή σωματιδίων ανά επιφάνεια}} = \frac{I_S}{I_o}$$

Για  $N$  = σωματίδια στόχου, τότε:

$$\sigma = \frac{I_S}{I_o N}$$

- Η  $\sigma$  έχει διαστάσεις επιφάνειας ( $\text{cm}^2$ ) - εκφράζει την επιφάνεια των κέντρων του στόχου την κάθετη στην προσπίπτουσα δέσμη

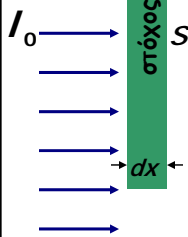
$$1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2 = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 100 \text{ fm}^2$$

Γ. Τσιπολίτης

## Ενεργός Διατομή ( $\sigma$ )

Για πυκνότητα σωματιδίων στόχου  $n$  (σωματίδια / $\text{cm}^3$ ) για πάχος υλικού  $dx$  έχουμε  $ndx$  σωματίδια στόχου

Η πιθανότητα αλληλεπίδρασης σε ένα πάχος  $dx$  είναι

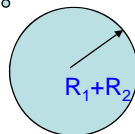
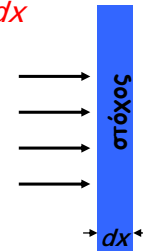


$$dP = \frac{I_S}{I_o} = \frac{\sigma(I_o/S)}{I_o} (Sndx) = \sigma ndx$$

ενεργός διατομή στην πυρηνική  
~1 barn ( $10^{-24} \text{ cm}^2$ )

$$\sigma_{\text{γεωμ.}} = \pi R^2 = \pi \times 10^{-26} A^{2/3} \text{ cm}^2,$$

$$\text{για } R = 1.07 A^{1/3} \text{ fm} = 10^{-13} A^{1/3} \text{ cm}$$

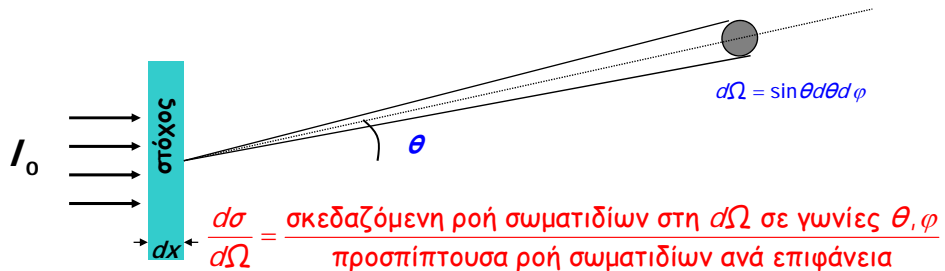


$$\sigma = \pi(R_1 + R_2)^2$$

εξαρτάται και από το στόχο και από το σωματίδιο

Γ. Τσιπολίτης

### Διαφορική Ενεργός Διατομή ( $d\sigma/d\Omega$ )



$$\sigma = \int \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right) \sin\theta d\theta d\varphi = 2\pi \int_0^\pi \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right) \sin\theta d\theta$$

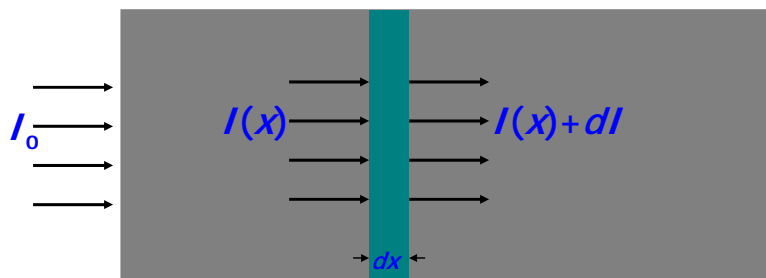
- Αν μετά τη σκέδαση τα σωματίδια εξέρχονται με ενέργεια που εξαρτάται από  $\theta$  και  $\varphi$

$$\frac{d\sigma(\theta, \varphi, E)}{d\Omega dE} = \frac{\text{ροή σε } dE, \text{ για ενέργεια } E, \text{ στη } d\Omega}{\text{προπίπτουσα ροή σωματιδίων ανά επιφάνεια}}$$

$$\int_0^\infty \frac{d\sigma(\theta, \varphi, E)}{d\Omega dE} dE = \frac{d\sigma(\theta, \varphi)}{d\Omega}$$

Γ. Τσιπολίτης

### Εξασθένηση Δέσμης



$I(x)$  ροή σωματιδίων σε απόσταση  $x$  μέσα στο υλικό και έχουμε  $n =$  σωματίδια /όγκο

$$I(x) \underbrace{\sigma n dx}_{dP} = I(x) dP = -dI(x)$$

$$\Rightarrow \int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^x \sigma n dx \Rightarrow I(x) = I_0 e^{-\sigma n x}$$

Γ. Τσιπολίτης

## Εξασθένηση Δέσμης

$$I(x) = I_0 e^{-x/\lambda} \quad \lambda = \frac{\int xP(x)dx}{\int P(x)dx}$$

- Αν  $x=\lambda$  τότε  $I(x)=I_0/e$ ,  $\lambda$  = απόσταση για την οποία η δέσμη ελαττώνεται κατά  $e$ .
- Συνήθως η πυκνότητα του στόχου δίνεται σε
  - $n = \rho N_0/A$  για στόχο από πυρήνες
  - $n = \rho N_0 Z/A$  για στόχο από ηλεκτρόνια
  - $n = \rho N_0$  για στόχο από πρωτόνια ή νετρόνια

$N_0 = 6,023 \times 10^{23}$  σταθερά του Avogadro,  $\rho$  πυκνότητα του υλικού σε  $\text{gr}/\text{cm}^3$   
 $A, Z$  μαζικός και ατομικός αριθμός,  ${}^A_Z X$

Γ. Τσιπολίτης

## Ενεργότητα Πηγών

- Ενεργότητα ή Ένταση ραδιενεργού πηγής = μέσος αριθμός διασπάσεων ανά μονάδα χρόνου

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{διάσπαση}} = -\lambda N$$

Αριθμός ραδιενεργών πυρήνων

Σταθερά διάσπασης

- Ιστορικά μονάδα ενεργότητας:  
 $1 \text{ Curie (Ci)} = 3,7 \times 10^{10} \text{ διασπάσεις/s (dps)}$
- Ισοδυναμεί με την ενεργότητα 1 gr καθαρού  ${}^{226}\text{Ra}$ .
- Πολύ μεγάλη ενεργότητα. Συνήθως 1 mCi ή 1  $\mu\text{Ci}$
- Το 1975 υιοθετήθηκε το becquerel (Bq)  
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$

Γ. Τσιπολίτης

## Ενεργότητα Πηγών

- **Προσοχή:** Η ενεργότητα μετρά τον ρυθμό διάσπασης της πηγής και δεν είναι συνώνυμος με το ρυθμό εκπομπής ακτινοβολίας που παράγεται σε κάθε διάσπαση. Πολλές φορές κάποια ακτινοβολία εκπέμπεται μόνο σε ένα κλάσμα απ' όλες τις διασπάσεις. Γι' αυτό η γνώση του διαγράμματος διάσπασης κάποιου ισότοπου είναι απαραίτητη για να βρούμε το ρυθμό εκπομπής ακτινοβολίας από την ενεργότητα. Επίσης, η διάσπαση ενός ισότοπου μπορεί να δώσει κάποιο ισότοπο το οποίο με τη σειρά του συμβάλει στην ενεργότητα της πηγής. Επίσης είναι διαφορετική από τη δόση ακτινοβολήσης που έχει να κάνει με τη ποσότητα ιονισμού που προκαλείται σ' ένα υλικό.
- **Ειδική Ενεργότητα:** ενεργότητα / μονάδα μάζας του ισότοπου. Για καθαρό δείγμα ενός ισότοπου :

$$\text{ειδική ενεργότητα} \equiv \frac{\text{ενεργότητα}}{\text{μάζα}} = \frac{\lambda N}{NM / A_v} = \frac{\lambda A_v}{M}$$

- M: μοριακό βάρος του δείγματος
- $A_v$ : αριθμός του Avogadro ( $=6,02 \times 10^{23}$  πυρήνες/mole)
- λ: σταθερά διάσπασης του ισότοπου ( $= \ln 2 / \text{χρόνο ημιζωής}$ )

Γ. Τσιπολίτης

## Μονάδες - Ενέργειας

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ fJ} (= 10^{-15} \text{ J}) = 6,241 \times 10^3 \text{ eV}$$

Πχ. Ένα σωματίδιο α έχει φορτίο +2 όταν επιταχυνθεί από μια διαφορά δυναμικού 1000 V αποκτά ενέργεια 2 keV

Για ακτίνες - X ή ακτινοβολία γ έχουμε

$$E = h\nu$$

← συχνότητα

$$\text{Σταθερά του Planck: } 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

$$\lambda = \frac{1,240 \times 10^{-6}}{E}$$

← Σε μέτρα

← Σε eV

Γ. Τσιπολίτης

## Τα Ραδιενεργά Σωματίδια

- Τρία είδη σωματιδίων αποτελούν την ακτινοβολία από τις ραδιενεργές διασπάσεις → **α, β, γ**



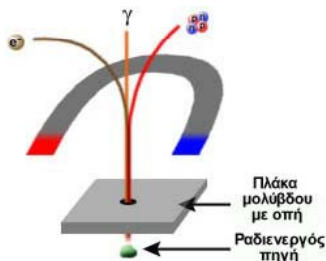
Τα σωματίδια άλφα είναι πυρήνες ηλίου (2 p, 2 n)

Yeeeeehaaaa!

Τα σωματίδια βήτα είναι ταχέα ηλεκτρόνια



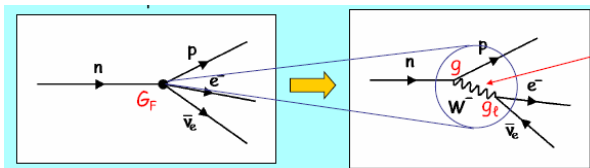
Η ακτινοβολία γάμα είναι μία ροή από πολύ ενεργητικά σωματίδια



Γ. Τσιπολίτης

## Πηγές Ταχέων Ηλεκτρονίων - β διάσπαση

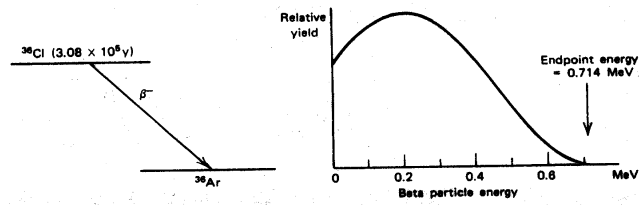
- Ραδιοϊσότοπα που διασπώνται με β-διάσπαση



- Η ενέργεια ανάδρασης του γ είναι γενικά μικρή (κάτω από το κατώφλι ιονισμού) οπότε το μόνο σωματίδιο που μπορεί να δώσει σημαντικό ιοντισμό είναι το ηλεκτρόνιο.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουμε διεγερμένο πυρήνα που αποδιεγείρεται με εκπομπή φωτονίων

Γ. Τσιπολίτης

## Πηγές Ταχέων Ηλεκτρονίων - $\beta^-$ διάσπαση



**Figure 1.1** The decay scheme of  $^{36}\text{Cl}$  and the resulting beta particle energy distribution.

<b>Table 1.1</b> Some "Pure" Beta-Minus Sources		
Nuclide	Half-Life	Endpoint Energy (MeV)
$^3\text{H}$	12.26 y	0.0186
$^{14}\text{C}$	5730 y	0.156
$^{32}\text{P}$	14.28 d	1.710
$^{33}\text{P}$	24.4 d	0.248
$^{35}\text{S}$	87.9 d	0.167
$^{36}\text{Cl}$	$3.08 \times 10^5$ y	0.714
$^{45}\text{Ca}$	165 d	0.252
$^{63}\text{Ni}$	92 y	0.067
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	27.7 y/64 h	0.546/2.27
$^{99}\text{Tc}$	$2.12 \times 10^5$ y	0.292
$^{147}\text{Pm}$	2.62 y	0.224
$^{204}\text{Tl}$	3.81 y	0.766

Data from Lederer and Shirley.<sup>1</sup>