

Πυρηνική Φυσική και Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό 2016-17)

Τμήμα Τ3: Κ. Κορδάς & Χ. Πετρίδου

Μάθημα 3

Αυθόρητη διάσπαση και χρόνος ζωής,
Σκεδάσεις και Ενεργός διατομή

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πυρηνική & Στοιχειώδη Ι, Αριστοτέλειο Παν. Θ/νίκης, 6 Οκτ. 2016

Βασικά

- **Μεταβολές στους πυρήνες**
 - Αυθόρμητη διάσπαση, χρόνος ζωής και νόμος ραδιενεργών διασπάσεων
 - Ενεργός διατομή και ρυθμός αλληλεπιδράσεων

Βασικά

Cottingham & Greenwood:

- **Παρ. 1.4, Παρ. 4.4**
 - Μονάδες, amu
- **Παρ. 2.3 και Παράρτημα Ε.1**
 - μέσος χρόνος ζωής και ενεργότητα (επίσης από **Σημειώσεις Πυρηνικής, Κεφ. 4, παρ. 4.1-4.5**)
- **Πάρτημα Α.1-Α.3**
 - Ενεργός διατομή και ρυθμός αντιδράσεων

Χ. Ελευθεριάδης: παρ. 1.1, 1.2, 3.3.3

- **Ιστοσελίδα μαθήματος:**
 - <http://www.physics.auth.gr/course/show/125>

1.

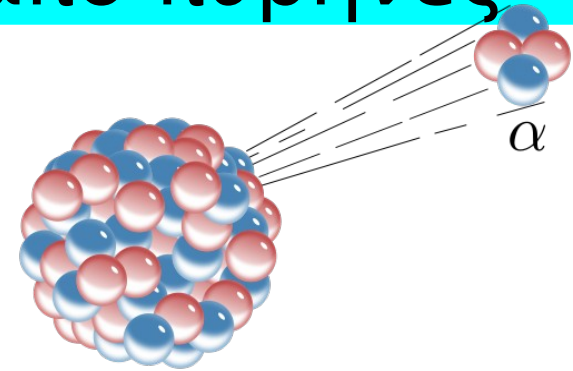
Τι μπορεί να πάθει ένας πυρήνας μόνος;

- Ή θα συνεχίσει να υπάρχει για πάντα ως έχει
- Ή κάποια στιγμή θα διασπαστεί

Αυθόρμητη διάσπαση πυρήνων (ραδιενέργεια) και είδη ακτινοβολίας από πυρήνες

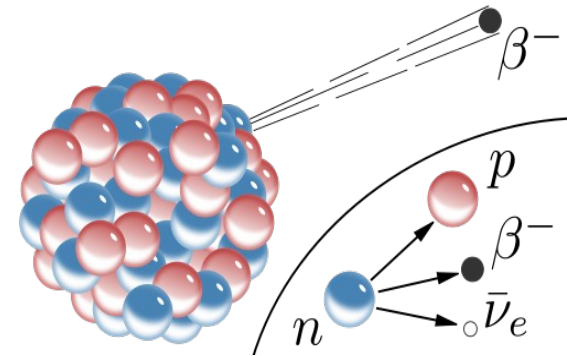
α-διάσπαση:

ο πυρήνας διώχνει ένα συσμάτωμα
από {2 πρωτόνια και δύο νετρόνια}
= διώχνει ένα σωματίδιο άλφα
(δηλαδή έναν πυρήνα ηλίου, He)



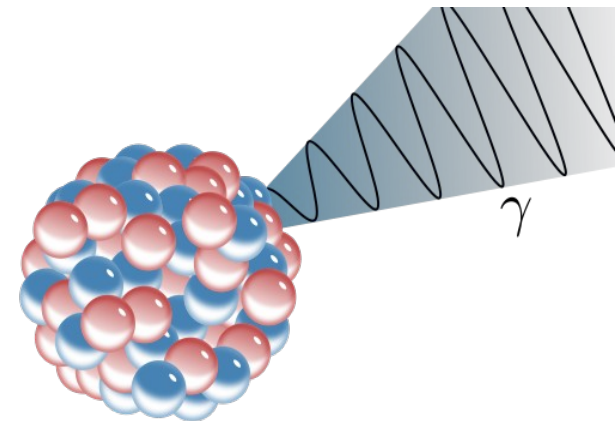
β-διάσπαση:

ο πυρήνας διώχνει ένα ηλεκτρόνιο
(e^-) ή ποζιτρόνιο (e^+)



γ-διάσπαση:

ο πυρήνας διώχνει ένα φωτόνιο (γ)
→ η μόνη περίπτωση που μένει ο ίδιος, απλά
με χαμηλότερη ενέργεια



Αυθόρμητη διάσπαση και είδη ακτινοβολίας από πυρήνες

ακτινοβολία α :

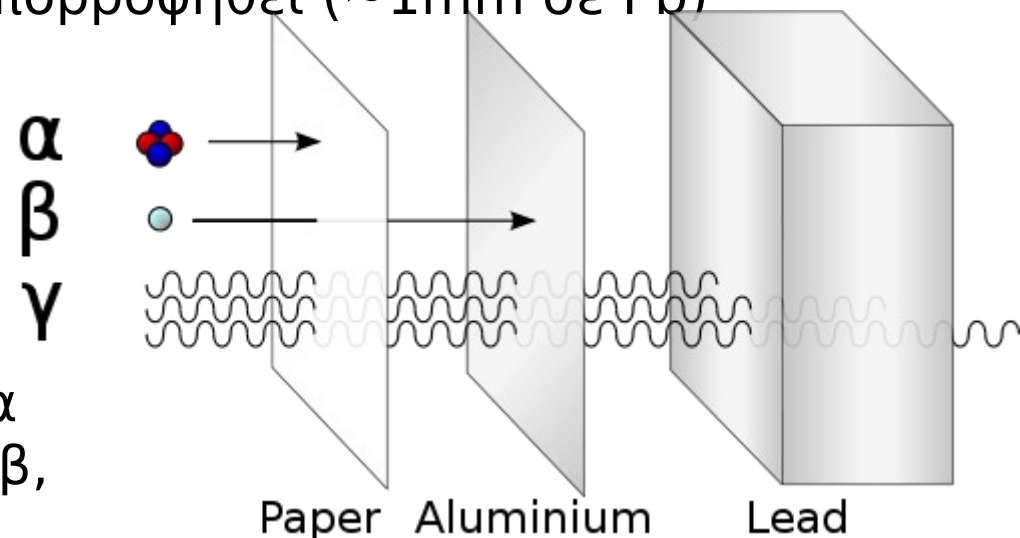
- Θετικά φορτισμένα σωματίδια και βαριά (~ 4 φορές το πρωτόνιο, δηλ. ~ 4 GeV)
- Αλληλεπιδράει με την ύλη μέσω της ισχυρής δύναμης: σταματάει εύκολα (~ 0.02 mm σε Pb)

ακτινοβολία β (β^- ή β^+):

- Φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια) και ελαφριά (~ 2000 φορές λιγότερο από τα πρωτόνια)
- Αλληλεπιδράει με την ύλη με την ηλεκτρομαγνητική δύναμη και διασχίζει περισσότερη ύλη μέχρι να απορροφηθεί (~ 1 mm σε Pb)

ακτινοβολία γ :

- Αφόρτιστα “σωματίδια”, χωρίς μάζα
- Πιο διεισδυτική στην ύλη από α και β , απορροφάται σταδιακά



Αυθόρμητη διάσπαση – χρόνος ζωής

- Μέσος χρόνος ζωής σωματιδίου = τ
= ο μέσος χρόνος που υπάρχει το σωματίδιο πριν διασπαστεί
- Το ποσοστό των πυρήνων που διασπώνται ανά μονάδα χρόνου είναι σταθερό ($=\lambda$ = “σταθερά διάσπασης”), δηλ. **ανεξάρτητο από την ηλικία των πυρήνων που μελετάμε** (π.χ., $\lambda = 1\%$ ανά λεπτό = $0.01/\text{min}$). [όχι όπως τα βιολογικά συστήματα...]
 - ποσοστό πυρήνων που διασπώνται στο χρονικό διάστημα dt : $\lambda * dt$
- Σε $t=0$ έχουμε N_0 πυρήνες. Σε χρόνο t , έχουμε $N(t)$
- Στο διάστημα $\{t, t+dt\}$ έχουν **διασπαστεί**: $N(t) * \lambda * dt$ πυρήνες και έχουν **απομείνει**: $N(t+dt) = N(t) - N(t) * \lambda * dt \rightarrow$

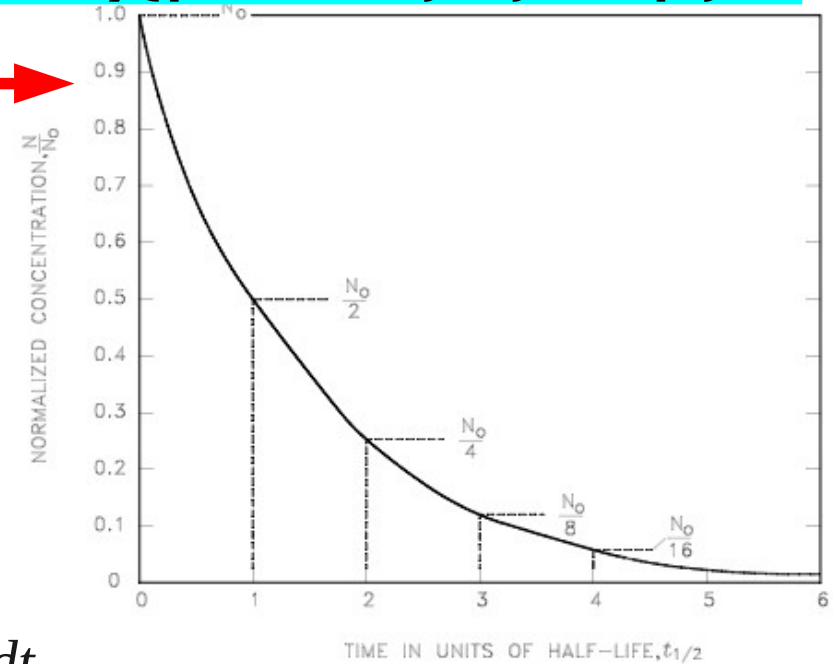
$$N(t+dt) - N(t) = - N(t) * \lambda * dt \rightarrow dN = -N * \lambda * dt \rightarrow \dots$$

$\dots \rightarrow N(t) = N_0 * e^{-\lambda t} \rightarrow$ εκθετική μείωση του ραδιενεργού υλικού με το πέρασμα του χρόνου

Αυθόρμητη διάσπαση - χρόνος ζωής

- $N(t) = N_0 * e^{-\lambda t}$

Εκθετική μείωση του αδιάσπαστου (και άρα ραδιενεργού) πληθυσμού με το πέρασμα του χρόνου



- **Μέσος χρόνος ζωής**

$$\tau = \frac{t_1 N_1 + t_2 N_2 + \dots}{N_1 + N_2 + \dots} = \frac{\int_0^{\infty} t N(t) dt}{\int_0^{\infty} N(t) dt} = \frac{N_0 \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt}{N_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt} = \frac{\lambda^{-2}}{\lambda^{-1}} = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{\tau}$$

- **Χρόνος ημίσειας ζωής: $T_{1/2}$**

$$N(t=T_{1/2}) = N_0/2 : N_0/2 = N_0 * e^{-\lambda t} \rightarrow t = T_{1/2} = \tau * \ln(2) = 0.693 * \tau$$

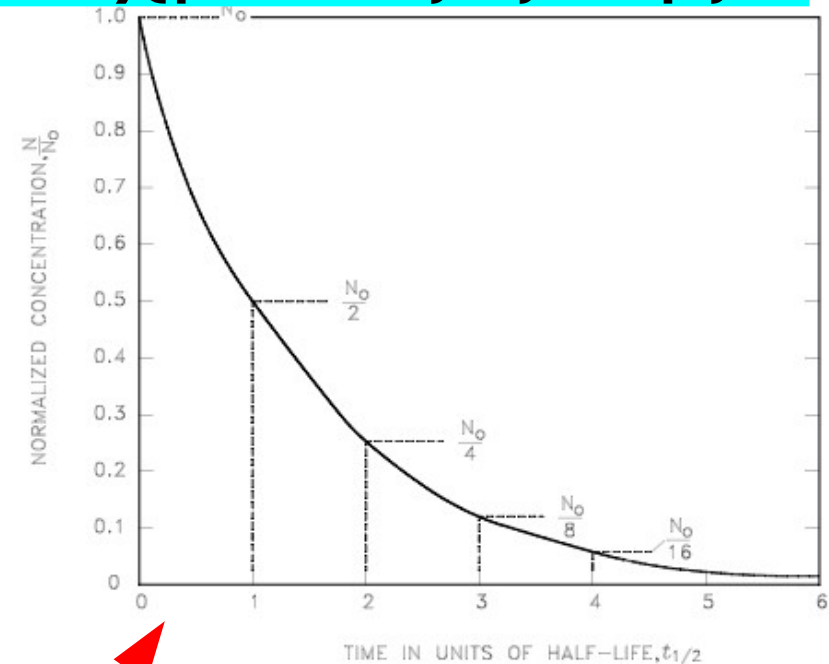
Αυθόρμητη διάσπαση - χρόνος ζωής

- $N(t) = N_0 * e^{-\lambda t}$

- **Ενεργότητα, A =**
διασπάσεις/μονάδα χρόνου:

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Αρχική ενεργότητα



Η ενεργότητα μειώνεται εκθετικά με το χρόνο,
με τον ίδιο τρόπο όπως και ο πληθυσμός των εναπομείναντων
αδιάσπαστων (ραδιενεργών) πυρήνων.

Άσκηση

Άσκηση:

Ποια η ενεργότητα 1g ^{226}Ra ?

Δίνονται:

$$T_{1/2} = 1670\text{y} \approx 1.6 \times 10^3 \times 3.1 \times 10^7 \text{ s} \approx 5 \times 10^{10} \text{ s}$$

Λύση:

$$\lambda = 0.693 / (5 \times 10^{10} \text{ s}) \approx 1.4 \times 10^{-11} / \text{s}$$

1g περιέχει $N_0 \approx 6 \times 10^{23} / 226 \approx 2.7 \times 10^{21}$ πυρήνες

Η ενεργότητα στην αρχή δημιουργίας του δείγματος είναι

$$t=0 \quad A(t=0) = \lambda N_0 \approx 1.4 \times 10^{-11} \times 2.7 \times 10^{21} / \text{s} \approx \mathbf{3.7 \times 10^{10} \text{ διασπ./s}}$$

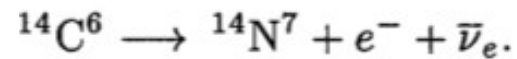
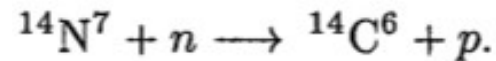
Μονάδες ενεργότητας:

Curie $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ διασπ./s}$

Becquerel $1\text{Bq} = 1 \text{ διασπ./s}$

Σημείωση: Ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C

Το ισότοπο ^{14}C παράγεται απο την αλληλεπίδραση της κοσμικής με το άζωτο ^{14}N της ατμόσφαιρας



β^- ραδιενεργό

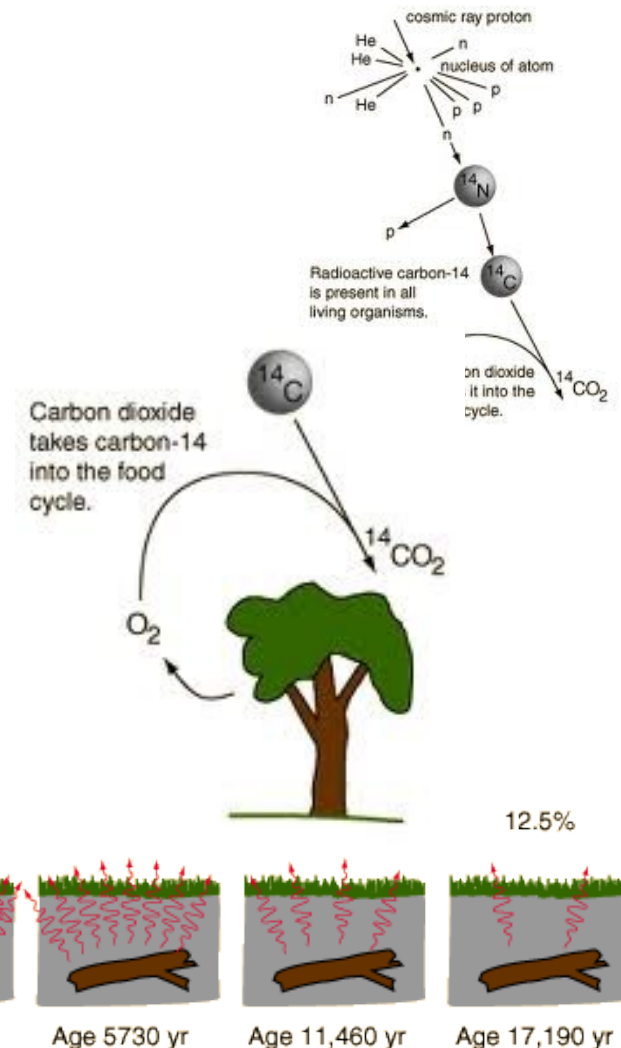
$T_{1/2} = 5730$ χρόνια.

Ζωντανοί οργανισμοί καταναλώνουν CO_2 το οποίο περιέχει τα ισότοπα του ^{12}C και ^{14}C .

Μετά το τέλος της ζωής του οργανισμού παύει η πρόσληψη ^{14}C και συνεχίζεται μόνο η διάσπάσή του.

Χρονολόγηση με τη σύγκριση της ενεργότητας του ^{14}C στο δείγμα τώρα, σε σχέση με την ενεργότητα του ^{14}C σε ζωντανό οργανισμό.

--> Ο λόγος των πυρήνων $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ σε ένα ζωντανό δένδρο είναι 1.3×10^{-12} . Μετά το θάνατο του δέντρου, η αναλογία μικραίνει αφού το ^{14}C διασπάται χωρίς να αναπληρώνεται.



2.

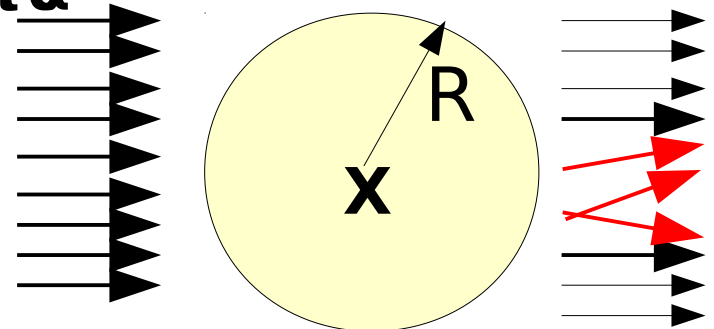
Τι μπορεί να πάθουν δύο σωματίδια που περνά το ένα από τη γειτονιά του άλλου;

- Ή δεν θα “αισθανθεί” κανείς την παρουσία του άλλου
- Ή θα αλληλεπιδράσουν
 - Η **“ενεργός διατομή”** της αλληλεπίδρασης δίνει ένα μέτρο της πιθανότητας αλληλεπίδρασης
 - Βιβλίο Cottingham & Greenwood (C&G): Παράρτημα A.1-A.3
 - Σκέδαση Rutherford : (C&G): Παράρτημα A.4

Αλληλεπιδράσεις και ενεργός διατομή: “1+1”

- Όταν έχουμε σκέδαση δύο σωματιδίων, μιλάμε για την **ενεργό διατομή** της αλληλεπίδρασης
- Έστω πολλά σωματίδια **“βλήματα”** που προσεγγίζουν από κάποια απόσταση έναν ακίνητο στόχο **X**, και προσπίπτουν τυχαία οπουδήποτε σε μια επιφάνεια πR^2 με κέντρο το στόχο

βλήματα



Ποσοστό
βλημάτων που
σκεδάζονται =

Πιθανότητα
αλληλεπίδρασης = $\frac{\text{σταθερά}}{\pi R^2} = \frac{\sigma_{tot}}{\pi R^2}$

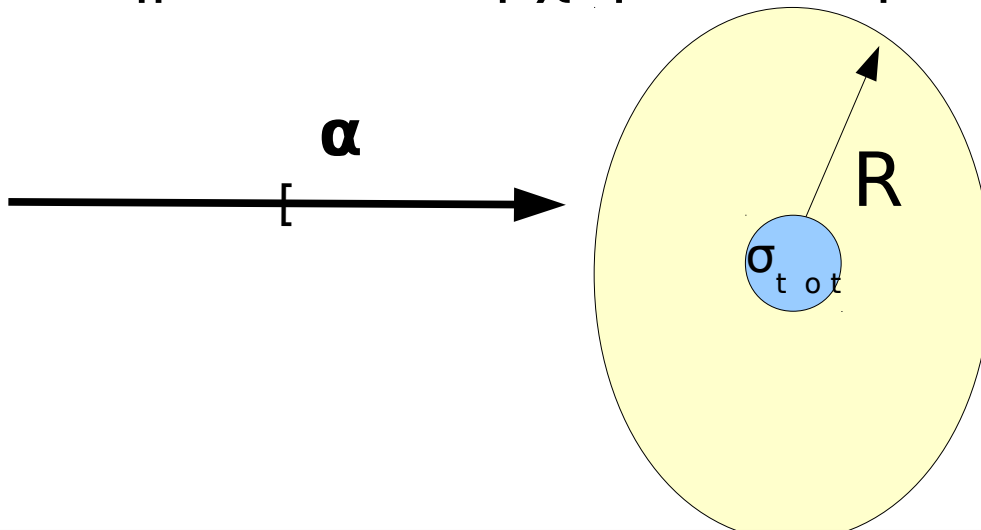
σ=σταθερά.

Οπότε λογικά, αν στέλνω τα βλήματα μακριά από το στόχο (μεγάλο R), το ποσοστό των σκεδαζόμενων βλημάτων θα είναι μικρό.

σ_{tot} = Ενεργός διατομή της αλληλεπίδρασης
μονάδες επιφανείας, σε barn (“b”). $1b = (10 \text{ fm})^2$

Ενεργός διατομή

- Όταν έχουμε σκέδαση δύο σωματιδίων, μιλάμε για την **ενεργό διατομή** της αλληλεπίδρασης
- Η ενεργός διατομή μπορεί να θεωρηθεί σαν την “ενεργό επιφάνεια” που παρουσιάζει ο πυρήνας X σε σημειακό επερχόμενο σωματίδιο βλήμα



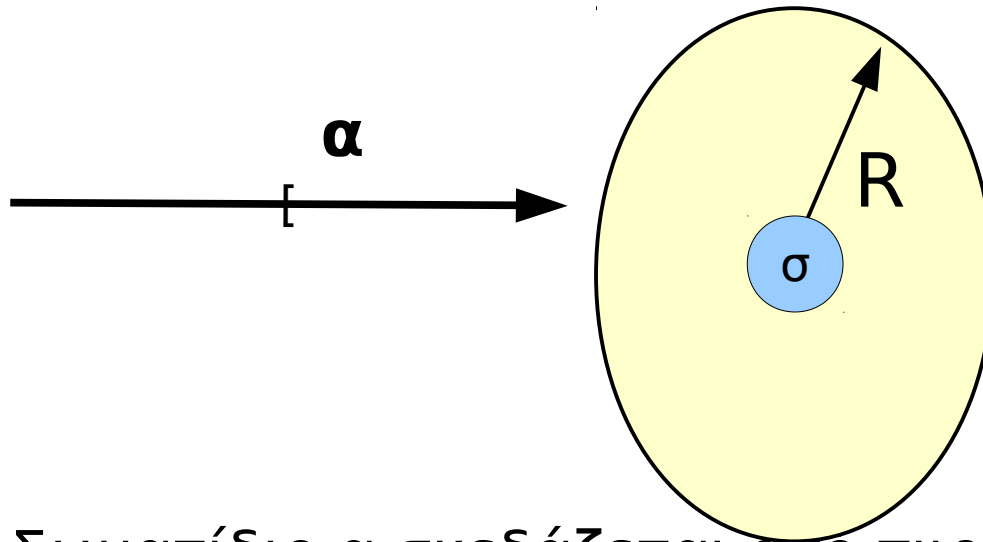
→ **Αλλά δεν είναι το ίδιο!**
Δεν έχουμε “hit or miss” στην αλληλεπίδραση σωματιδίων.

Η ενεργός διατομή δεν είναι γεωμετρικός παράγοντας, αλλά είναι συλλογική ιδιότητα των δύο σωματιδίων που αλληλεπιδρούν.

Εξαρτάται και από τον τύπο των σωματιδίων και από την ενέργειά τους

Μιά αίσθηση μεγέθους ενεργών διατομών

- Ας πάρουμε τη γεωμετρική θεώρηση μιας σκέδασης



- Σωματίδιο α σκεδάζεται από πυρήνα με ακτίνα $r = 6 \text{ fm}$.
- Αν θεωρήσουμε το α σημειακό που πέφτει τυχαία οπουδήποτε στον μεγάλο κύκλο R , και επίσης θεωρήσουμε την επιφάνεια σ που παρουσιάζει ο πυρήνας σαν την “ενεργό” επιφάνεια αλληλεπίδρασης, τότε η ενεργός διατομή αλληλεπίδρασης είναι $\sigma = \pi * r^2 = 113 \text{ fm}^2 = 1.13 \text{ mb}$
- πιθανότητα το α να πέσει πάνω στον πυρήνα $= \pi * r^2 / \pi * R^2 = \sigma / (\pi * R^2)$, με $\sigma = 1.13 \text{ mb}$, που είναι σωστή τάξη μεγέθους για ισχυρές αλληλεπιδράσεις!

Ενεργός διατομή: επί μέρους και ολική

- **Η ενεργός διατομή δεν είναι γεωμετρικός παράγοντας**
- Εξαρτάται από τα σωματίδια που αλληλεπιδρούν και τις ενέργειές τους
 - π.χ. $\sigma(\pi+p) > \sigma(e+p) > \sigma(\nu+p)$
- **Ανάλογα με την ερώτηση που θέλουμε να απαντήσουμε, μπορεί να εξαρτάται επίσης και από τα παραγόμενα σωματίδια και τα χαρακτηριστικά τους**
 - Μπορούμε να ορίσουμε τις “επί μέρους ενεργές διατομές” = “**exclusive cross section**”) = σ_i
 - π.χ., $\sigma(pp \rightarrow W), \sigma(pp \rightarrow Z)$
 - “ολική ενεργός διατομή” = “**inclusive cross section**”
= $\sigma_{tot} = \sum \sigma_i$
 - π.χ., $\sigma_{tot}(pp) = \sigma(pp \rightarrow W) + \sigma(pp \rightarrow Z) + \dots$

Παράδειγμα: ενεργός διατομή

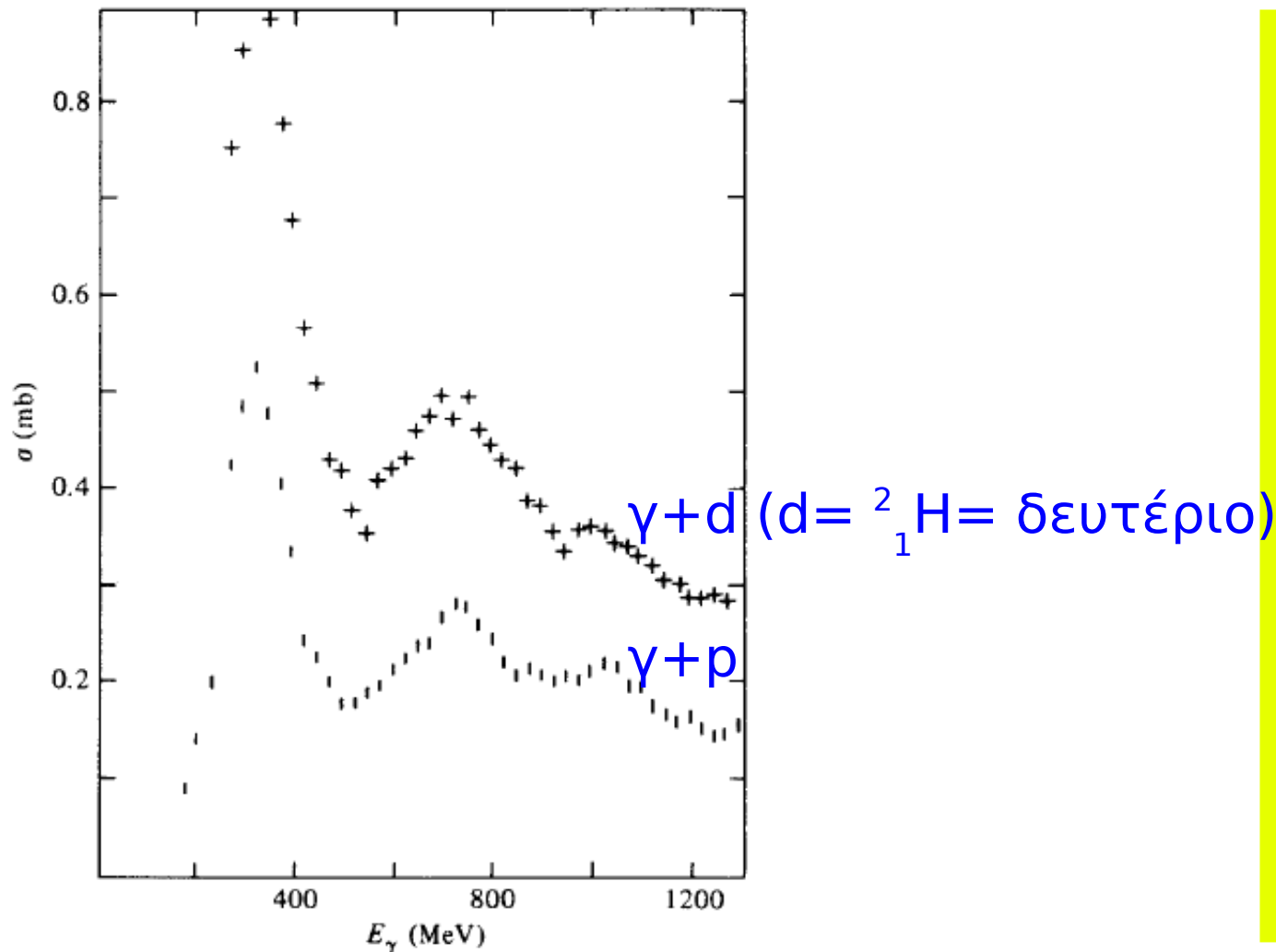


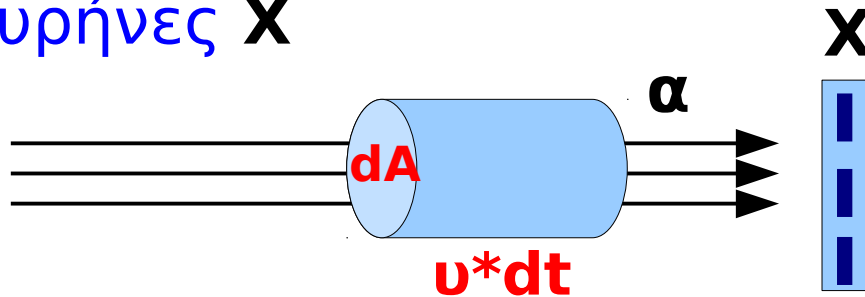
Fig. 3.1 The total photon cross-section for hadron production on protons (dashes) and deuterons (crosses). The difference between these cross-sections is approximately the cross-section on neutrons. (After Armstrong, T. A. *et al.* (1972), *Phys. Rev.* **D5**, 1640; *Nucl. Phys.* **B41**, 445.)

- Η ενεργός διατομή είναι συλλογική ιδιότητα των δύο σωματιδίων που αλληλεπιδρούν: εξαρτάται από τον τύπο των σωματιδίων και την ενέργειά τους

Σχήμα 3.1 στο βιβλίο πυρηνικής C&G (5ου εξαμήνου)

Ενεργός διατομή και ρυθμός αντίδρασης: "πολλά+1"

- Δέσμη σωματιδίων α , προσπίπτει με ταχύτητα u σε υλικό με πυρήνες X



ρ_α = αριθμητική
πυκνότητα όγκου
δέσμης σωματιδίων α

- Αριθμητική πυκνότητα της δέσμης $\alpha = \rho_\alpha$ = αριθμός σωματιδίων α , ανά μονάδα όγκου
- Ροή των σωματιδίων $\alpha = \Phi$ = αριθμός σωματιδίων α που περνούν ανά μονάδα επιφάνειας, ανά μονάδα χρόνου = $\rho_\alpha * u$ [Σημείωση: από την επιφάνεια dA σε χρόνο dt περνούν $\rho_\alpha * dA * u * dt$ σωματίδια α]
- Αριθμός α που διέρχεται από επιφάνεια πR^2 γύρω έναν πυρήνα X , στη μονάδα χρόνου ($dt=1$) : $\rho_\alpha * u * \pi R^2 = \Phi * \pi R^2$
- Θυμάστε: πιθανότητα αλληλεπίδρασης ενός α με έναν $X = \frac{\sigma}{\pi R^2}$
- Ρυθμός (dN/dt) αλληλεπίδρασης σωματιδίων α με έναν πυρήνα $X = (\rho_\alpha * u * \pi R^2) * (\sigma / \pi R^2) = \rho_\alpha * u * \sigma_{tot} = \Phi * \sigma_{tot} \Rightarrow dN/dt = \Phi * \sigma_{tot}$
= ροή προσπίπτοντων σωματιδίων * ενεργός διατομή αλληλεπίδρασης

Χρηστικός ορισμός ενεργού διατομής, σ

- Αν έχουμε την αντίδραση



όπου μια δέσμη σωματιδίων α , με ροή Φ , συγκρούεται με ΕΝΑ σωματίδιο τύπου X , τότε:

- Ο ρυθμός αλληλεπιδράσεων ($R = dN/dt$) είναι

$$R = dN/dt = \sigma * \Phi \rightarrow \sigma = R/\Phi$$

οπότε μπορούμε χρηστικά να ορίσουμε την ενεργό διατομή σ , ως το ρυθμό αλληλεπιδράσεων ανά μονάδα ροής των προσπιπτων σωματιδίων και ανά σωματίδιο του στόχου

Πέρασμα δέσμης μέσα από υλικό με πολλούς πυρήνες: “πολλά + πολλά”

- Όταν μια δέσμη πολλών σωματιδίων α , πέφτει πάνω σε N_X πυρήνες, τότε ο ρυθμός αλληλεπιδράσεων είναι N_X φορές μεγαλύτερος απ' ότι αν η δέσμη των σωματιδίων α έπεφτε σε στόχο με έναν μόνο πυρήνα X :

$$dN/dt = N_X * (\Phi * \sigma)$$

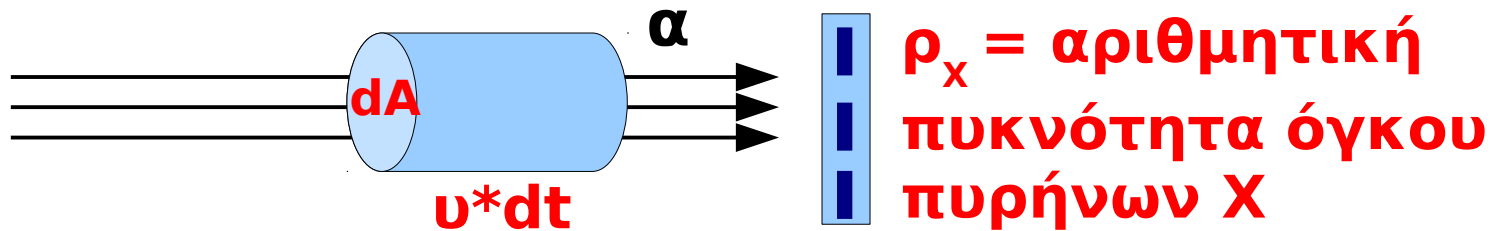
- Αν η δέσμη των σωματιδίων α έχει **επιφάνεια A** (αλληλεπικάλυψης με το στόχο), και πέφτει πάνω στο στόχο που έχει πάχος dx ,
- Αν οι πυρήνες X έχουν αριθμητική πυκνότητα όγκου: ρ_X (=αριθμός πυρήνων / cm^3),

τότε: $N_X = \rho_X * \text{όγκος} = \rho_X * A * dx$

Οπότε:
 $dN/dt = (\rho_X * A * dx * \Phi) * \sigma$

Ενεργός διατομή και μέση ελεύθερη διαδρομή: “1+πολλά”

- Κατ' αντιστοιχία με σέσμη σωματιδίων α , που προσπίπτει με ταχύτητα u σε υλικό με πυρήνες X



- Και κατ' αντίστοιχα με την ανάλυση “πολλά + 1”, έχουμε:

Ρυθμός αντιδράσεων ($R=dN/dt$) ενός σωματιδίου α με τους πυρήνες X του στόχου: $dN/dt = \rho_x * u * \sigma_{tot}$

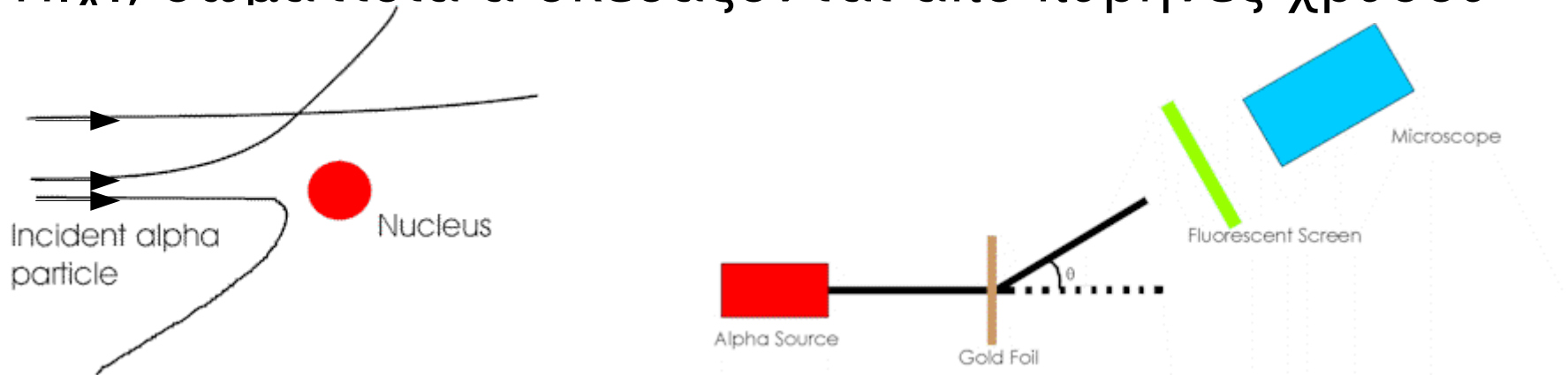
- (σαν να είμαι πάνω στο α και να βλέπω τους πυρήνες X να έρχονται με ταχύτητα u , οπότε έχω: **ροή των σωματιδίων X * ενεργός διατομή αλληλεπίδρασης**)

- Για **μία** αλληλεπίδραση ($dN/dt=1/dt$) απαιτείται κατά μέσο όρο χρόνος $\tau = 1/(\rho_x * u * \sigma_{tot})$

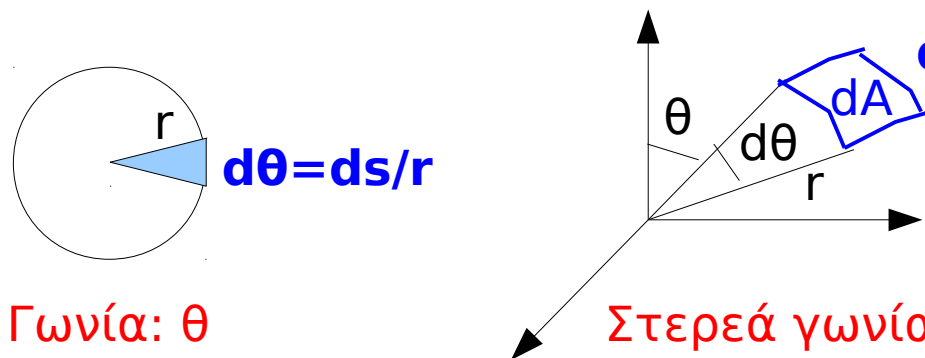
- Μέση ελεύθερη διαδρομή, $L = \tau * u = 1/(\rho_x * \sigma_{tot})$**

Διαφορική ενεργός διατομή, $d\sigma$, για σκέδαση σε συγκεκριμένη κατεύθυνση

- Π.χ., σωματίδια α σκεδάζονται από πυρήνες χρυσού



- Μετρώ σε κάθε κατεύθυνση (θ, ϕ) πόσα σκεδαζόμενα σωματίδια (dN) “βλέπω” μέσα σε χρόνο dt :
Επειδή $dN/dt = \text{ροή βλημάτων} * d\sigma$, έχω $dN = \text{ροή} * dt * d\sigma$
- Ο αριθμός των σκεδαζόμενων σωματιδίων dN είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης (θ, ϕ) . Ανά μονάδα στερεάς γωνίας $d\Omega$ έχω : $dN/d\Omega$



Γωνία: θ

Στερεά γωνία: Ω

$$d\Omega = dA/r^2 = (r * d\theta * r * \sin\theta * d\phi) / r^2 = d\phi * \sin\theta * d\theta$$

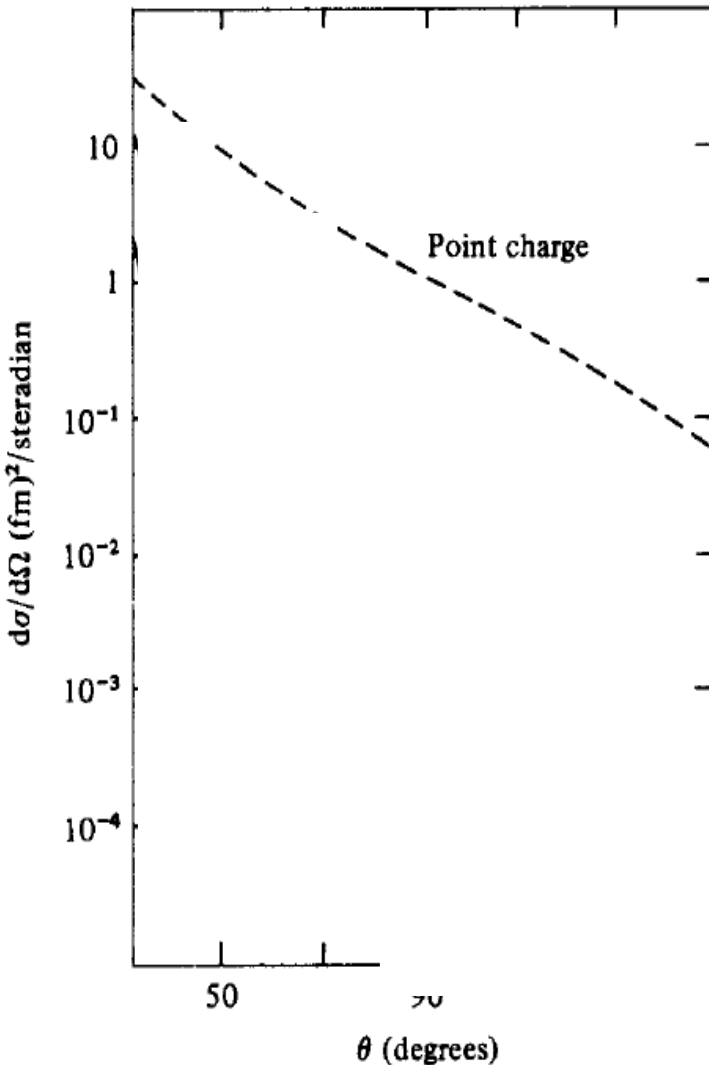
→ αν δεν με ενδιαφέρει το ϕ , ολοκληρώνω και παίρνω 2π απ'αυτό:

$$d\Omega = 2\pi * \sin\theta * d\theta = 2\pi * d(\cos\theta)$$

Σκέδαση Rutherford

$$\frac{dN}{d\Omega} = \frac{(\rho\phi * dt) * d\sigma}{d\Omega} = \sigma_{\text{ταθ}} * \frac{d\sigma}{d\Omega}$$

1. Μετράμε το $dN/d\Omega$,
και άρα το $d\sigma/d\Omega$



$$d\Omega = dA/r^2$$

$= (r * d\theta * r * \sin\theta * d\phi) / r^2 = d\phi * \sin\theta * d\theta$
→ αν δεν με ενδιαφέρει το ϕ , ολοκληρώνω και παίρνω 2π απ'αυτό:

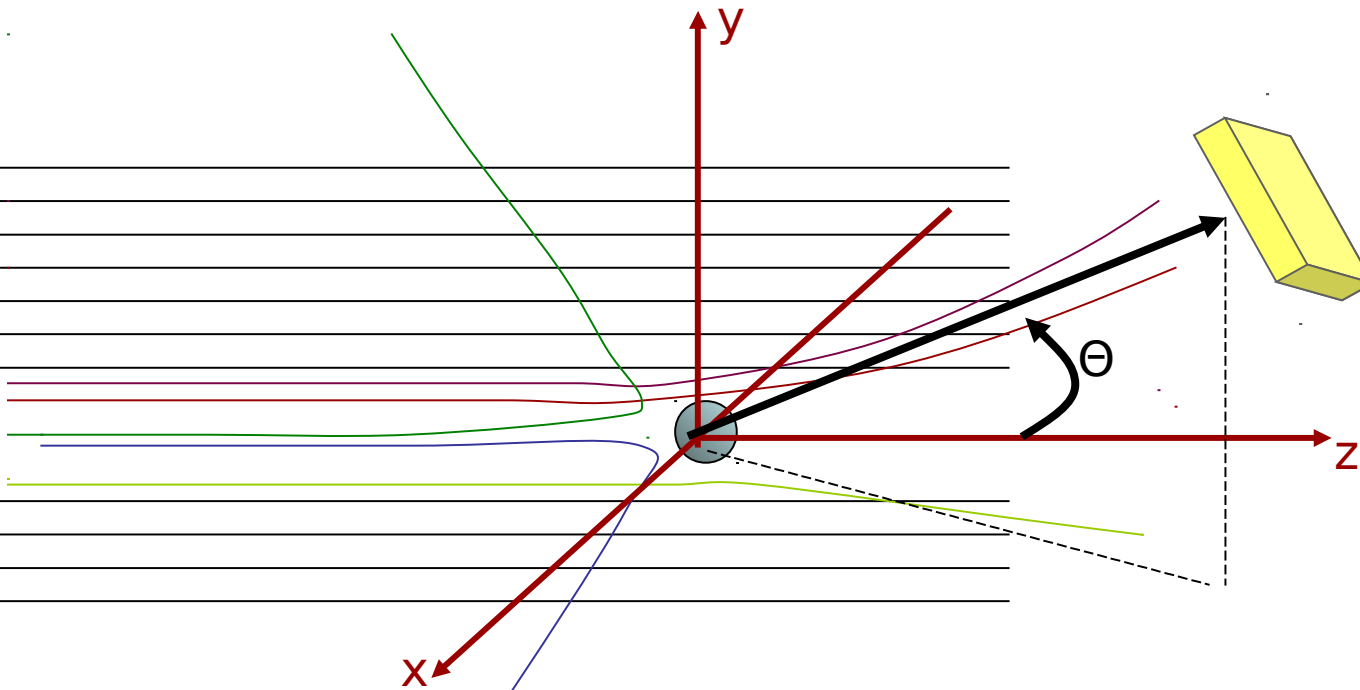
$$d\Omega = 2\pi * \sin\theta * d\theta = 2\pi * d(\cos\theta)$$

2. Όταν έχουμε ολοκληρώσει τις παρατηρήσεις σε όλα τα ϕ , το $d\sigma$ περιγράφει αλληλεπίδραση συναρτήσεως της γωνίας θ μόνο.
→ Αν οι πυρήνες είναι σημειακοί, περιμένουμε από τη θεωρία:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} = \frac{1}{(1 - \cos\theta)^2}$$

3. Αν δεν μετράμε αυτό, τότε οι μετρήσεις μάς λένε ότι οι πυρήνες δεν είναι σημειακοί*

Διαφορική Ενεργός Διατομή



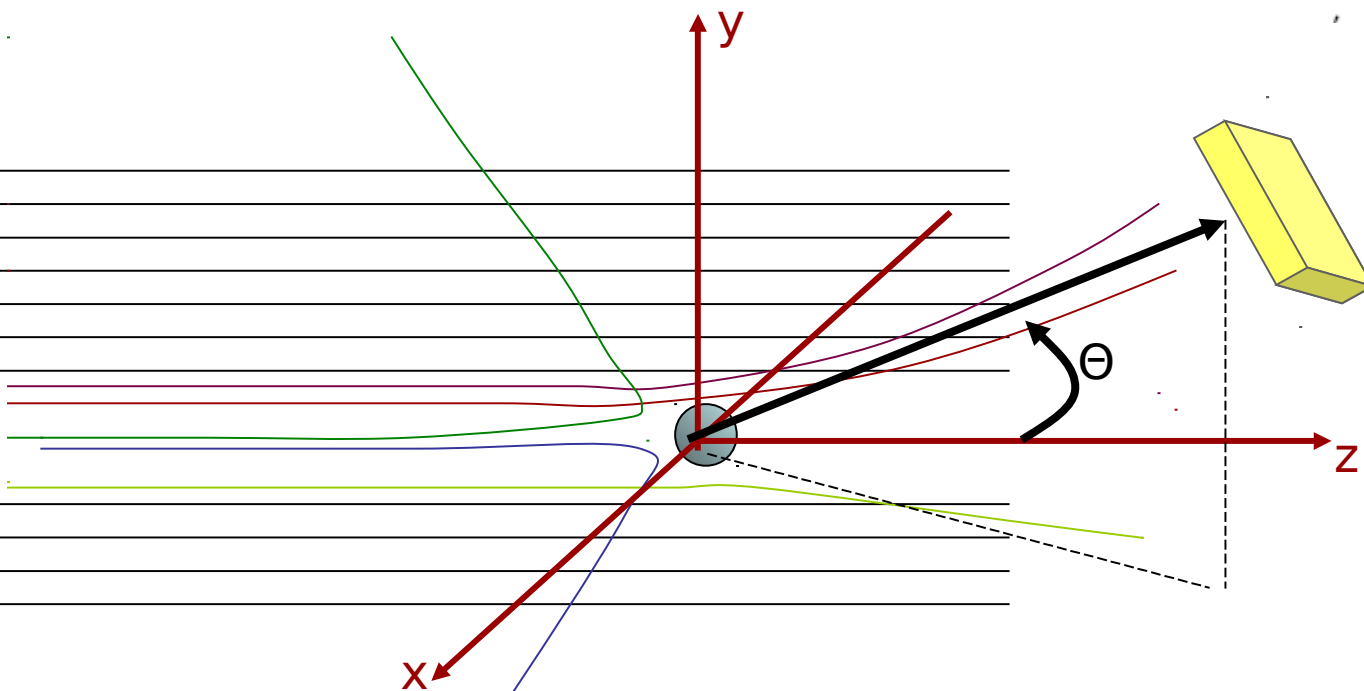
$$\frac{dN(\Theta, \varphi)}{dt} = d\sigma(\Theta, \varphi) I_0$$

Ένταση (I_0) ή Ροή (Φ) της προσπίπτουσας δέσμης: Αριθμός «βλημάτων» που προσπίπτουν, στην μονάδα του χρόνου, κάθετα σε μοναδιαία επιφάνεια του στόχου

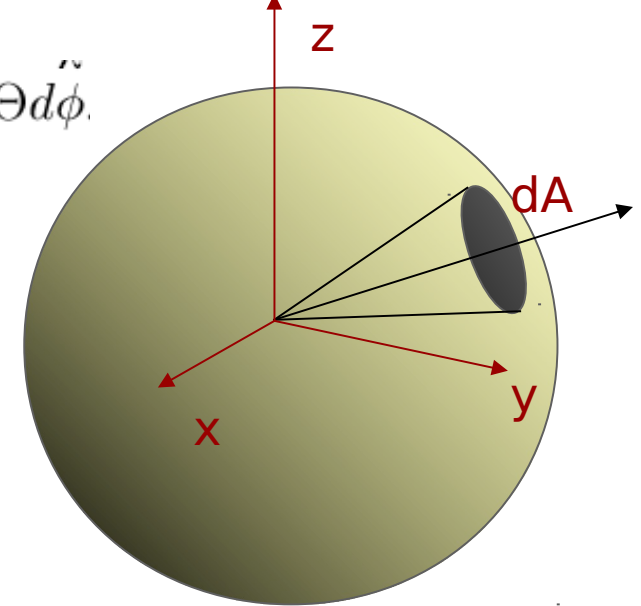
$dN(\Theta, \varphi)/dt$ = αριθμός βλημάτων που σκεδάζονται προς την κατεύθυνση (Θ, φ) στη μονάδα του χρόνου

Διαφορική ενεργός διατομή, $d\sigma(\Theta, \varphi)$: Η σταθερά αναλογίας μεταξύ dN/dt και I_0 . Έχει μονάδες επιφάνειας και αντιστοιχεί στο τμήμα της επιφάνειας της δέσμης που σκεδάζεται υπό γωνίες Θ και φ

Διαφορική Ενεργός Διατομή



$$dA = r^2 d\Omega : r^2 \sin \Theta d\Theta d\tilde{\phi}$$



$$\frac{dN(\Theta, \varphi)}{dt} = d\sigma(\Theta, \varphi) I_0$$

Ένταση (I_0) ή Ροή (Φ) της προσπίπτουσας δέσμης: Αριθμός «βλημάτων» που προσπίπτουν, στην μονάδα του χρόνου, κάθετα σε μοναδιαία επιφάνεια του στόχου

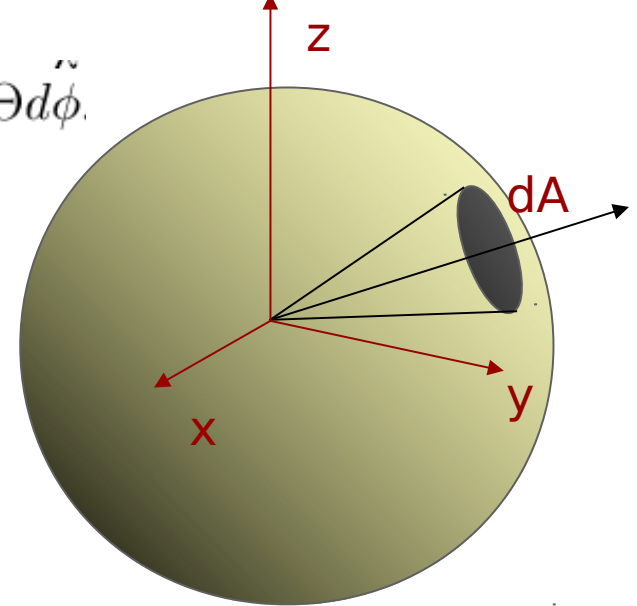
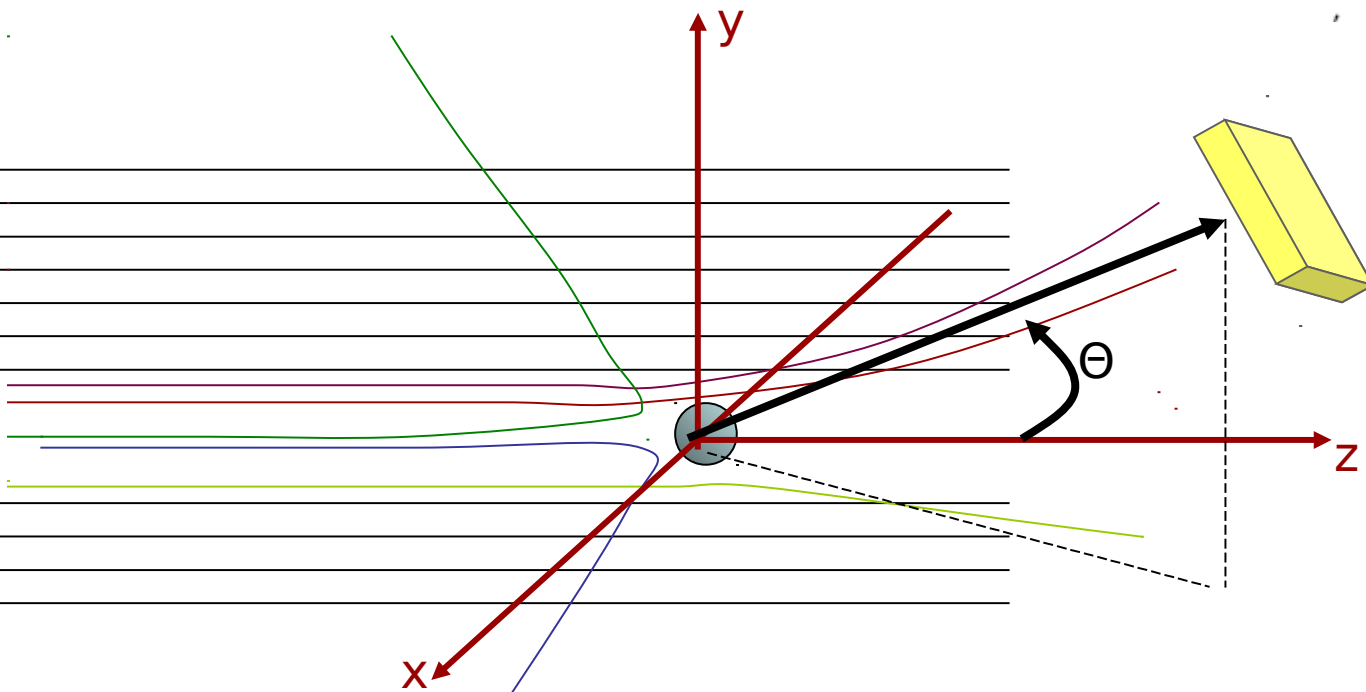
$dN(\Theta, \varphi)/dt$ = αριθμός βλημάτων που σκεδάζονται προς την κατεύθυνση (Θ, φ) στη μονάδα του χρόνου

Διαφορική ενεργός διατομή, $d\sigma(\Theta, \varphi)$: Η σταθερά αναλογίας μεταξύ dN/dt και I_0 . Έχει μονάδες επιφάνειας και αντιστοιχεί στο τμήμα της επιφάνειας της δέσμης που σκεδάζεται υπό γωνίες Θ και φ

Στερεά Γωνία $d\Omega$: Ο λόγος της επιφάνειας του ανιχνευτή (που καλύπτει τμήμα σφαιρικής επιφάνειας με κέντρο τον στόχο) προς το τετράγωνο της απόστασης ανιχνευτή-στόχου.

Διαφορική Ενεργός Διατομή

$$dA = r^2 d\Omega : r^2 \sin \Theta d\Theta d\phi$$



$$\frac{dN(\Theta, \varphi)}{dt} = d\sigma(\Theta, \varphi) I_0$$

Ένταση (I_0) ή Ροή (Φ) της προσπίπτουσας δέσμης: Αριθμός «βλημάτων» που προσπίπτουν, στην μονάδα του χρόνου, κάθετα σε μοναδιαία επιφάνεια του στόχου

$dN(\Theta, \varphi)/dt$ = αριθμός βλημάτων που σκεδάζονται προς την κατεύθυνση (Θ, φ) στη μονάδα του χρόνου

Διαφορική ενεργός διατομή, $d\sigma(\Theta, \varphi)$: Η σταθερά αναλογίας μεταξύ dN/dt και I_0 . Έχει μονάδες επιφάνειας και αντιστοιχεί στο τμήμα της επιφάνειας της δέσμης που σκεδάζεται υπό γωνίες Θ και φ

Στερεά Γωνία $d\Omega$: Ο λόγος της επιφάνειας του ανιχνευτή (που καλύπτει τμήμα σφαιρικής επιφάνειας με κέντρο τον στόχο) προς το τετράγωνο της απόστασης ανιχνευτή-στόχου.

Μέτρηση:

εξαρτάται και από τη ροή βλημάτων και τη γεωμετρία του ανιχνευτή μου

$$\frac{dN/dt}{dA} = \frac{I_0}{r^2} \frac{d\sigma}{d\Omega}$$

$d\sigma/d\Omega$:
περιγράφει τη φυσική της αλληλεπίδρασης

Μερικοί σχετικοί ιστότοποι

- **Rutherford scattering:**

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/rutsca.html#c2>

- **Ενεργός διατομή σκέδασης:**

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/nuclear/crosec.html#c5>

- **Great experiments in Physics**

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/grexp.html#c1>