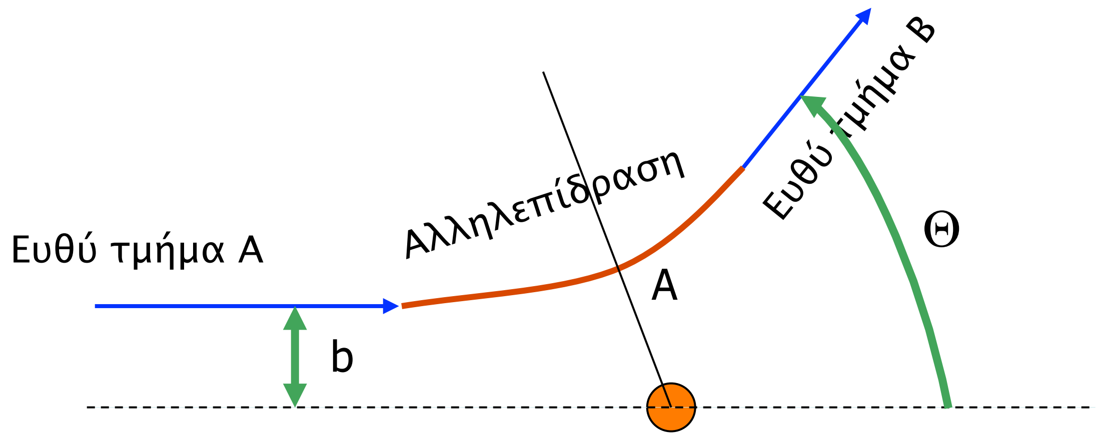
Το πρόβλημα της σκέδασης

- Θεωρήστε μή φραγμένη κίνηση σε κεντρικό δυναμικό
  - Σωματίδιο έρχεται από το άπειρο και πηγαίνει στο άπειρο
- Υποθέστε ότι $F(r) \to 0$ καθώς $r \to \infty$
  - Η τροχιά προσεγγίζει ευθείες γραμμές για μεγάλα r



- Το πρόβλημα: Πως σχετίζονται τα τμήματα A και B
- Χαρακτηριστικά:

  b: παράμετρος πρόσκρουσης – η κάθετη απόσταση μεταξύ της διεύθυνσης κίνησης του σώματος και μιας παρ/λης ευθείας που περνά από το κέντρο του στόχου

  Θ: γωνία σκέδασης – γωνία μεταξύ της προσπίπτουσας και σκεδαζόμενης ταχύτητας του βλήματος

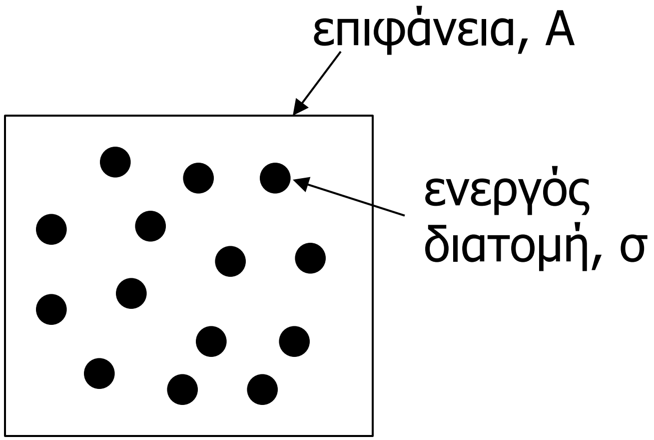
  A: σημείο εγγύτερης απομάκρυνσης

Σημαντικότητα του προβλήματος

- Όλες οι φυσικές παρατηρήσεις είναι φαινόμενα σκέδασης
  - Σκέδαση φωτονίων σε αντικείμενο ➡ Βλέπουμε
  - Ηλεκτρόνια σκεδάζονται σε αντικείμενο ➡ Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο
- Πειράματα σε μικροσκοπική κλίμακα
  - Σκέδαση ηλεκτρονίων – πυρήνων ➡ Διερεύνηση δομή πυρήνων
  - Σκέδαση νετρίνο – ηλεκτρονίων ➡ Μέτρηση ενέργειας νετρίνων
- Κλασική περιγραφή των φαινομένων αυτών αποτυγχάνει
  - Κλασική προσέγγιση αρκετά καλή σε πολλές περιπτώσεις
  - Η συνταγή της κλασικής προσέγγισης χρησιμοποιείται στην κβαντική μηχανική – περισσότερο ευκολονόητη διαισθητικά

Η διατομή σκέδασης – στατιστικά

- Θεωρήστε ότι έχετε κάποιο σύστημα αποτελούμενο από $N_{στ}$ στόχους
  - Πυκνότητα στόχου: $n_{\sigma\tau} = N_{\sigma\tau}/A$
  - Αριθμός στόχων: $N_{\sigma\tau} = n_{\sigma\tau} A$
  - Διατομή στόχων: $\sigma = \pi R^2$
  - Ολική διατομή στόχων: $\sigma_{o\lambda} = n_{\sigma\tau} A \sigma$
  - Πιθανότητα κρούσης: $\sigma_{o\lambda}/A = n_{\sigma\tau} A\sigma / A = n_{\sigma\tau}\sigma$
  - Για δέσμη $N_{δεσμης}$ σωματιδίων/βλημάτων: $N_{χτυπ.} = N_{δεσμης} \times n_{στ} \times σ$
- Μονάδας μέτρησης ενεργού διατομής, σ: barn = $10^{-28} m^2$



Μέση ελεύθερη διαδρομή (mean free path)

- Έστω ότι έχετε ένα αέριο αποτελούμενο από N μόρια ακτίνας R
  - Μέση ελεύθερη διαδρομή, λ: μέση απόσταση που διανύει ένα βλήμα (μόριο) μεταξύ διαδοχικών συγκρούσεων
- Εξετάζουμε ένα μόριο – Θεωρούμε τα υπόλοιπα ακίνητα
  - Ενεργός Διατομή σκέδασης: $\sigma = \pi(R+R)^2 = 4\pi R^2$
  - Αριθμός στόχων σε πάχος dx: $n_{\sigma\tau} = \frac{N}{V}dx$
  - Πιθανότητα σκέδασης σε dx: $prob(dx) = \frac{N\sigma}{V}dx$
  - Πιθανότητα μή σκέδασης σε απόσταση x: $prob(x)$
  - Πιθανότητα σκέδασης σε απόσταση dx αφού διανύσει απόσταση x:

$$prob(x,x+dx) = prob(x)\,prob(dx) = prob(x)\frac{N\sigma}{V}dx$$

  - Αλλά αυτό είναι: $prob(x,x+dx) = prob(x) - prob(x+dx) = -\frac{d}{dx}prob(x)dx$

$$\Rightarrow \frac{d}{dx}prob(x)dx = -\frac{N\sigma}{V}prob(x)dx \Rightarrow prob(x) = e^{-(N\sigma/V)x}$$

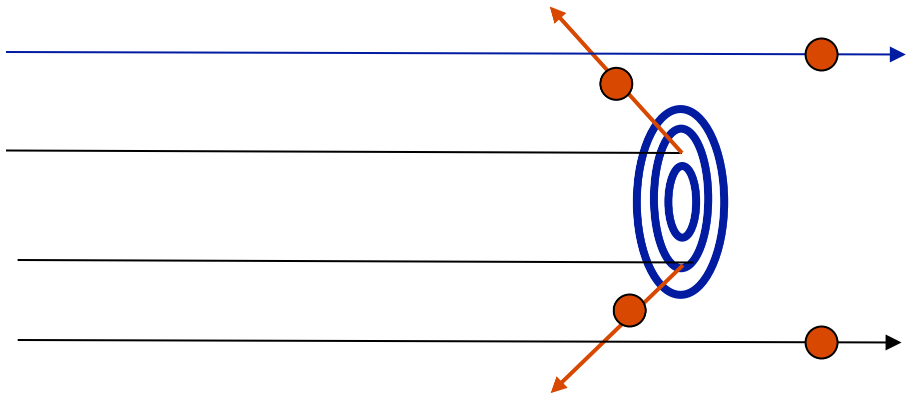
- Μέση ελεύθερη διαδρομή: $\lambda = \langle x\rangle = \int_0^\infty x\left[\frac{d}{dx}prob(x)\right]dx = \int_0^\infty x\frac{N\sigma}{V}e^{-(N\sigma/V)x}dx$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{V}{N\sigma}$$

για μόρια αέρα (R=0.15nm) λ~130nm

Μοντέλο κακού σκοπευτή

- Θεωρήστε ότι στοχεύετε σε ένα μικρό στόχο
  - και ότι είστε αρκετά άστοχοι



- Τα βλήματα κατανέμονται ομοιόμορφα
  - Ένταση δέσμης: $I = \frac{N_{\sigma\varphi.}}{At}$ =Αριθμός σφαιρών/επιφάνεια/χρόνο
- Ο αριθμός των χτυπημάτων είναι ανάλογος του μεγέθους του στόχου

$$N_{\chi\tau\upsilon\pi.} = I \cdot \sigma$$

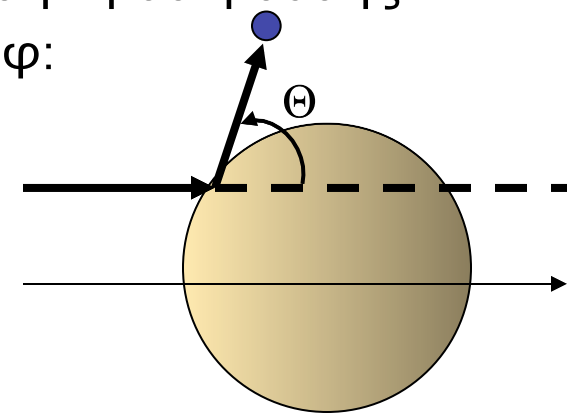
συχνότητα χτυπημάτων (σφαίρες/sec)

ένταση (σφαίρες/m²/sec)

ενεργός διατομή στόχου (m²)

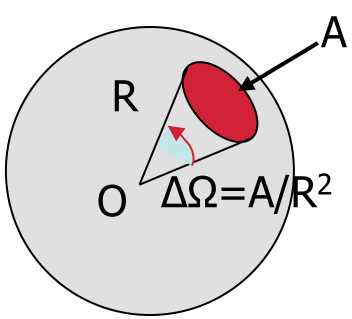
Σφαιρικός στόχος – Στερεά γωνία

- Θεωρήστε ότι ο στόχος είναι μια συμπαγής σφαίρα
  - Χρησιμοποιούμε σημειακά βλήματα και η σκέδαση είναι ελαστική
- Μελετούμε την γωνία σκέδασης Θ
  - Περισσότερες πληροφορίες για το είδος της αλληλεπίδρασης
- Διεύθυνσης σκέδασης ⇨ θ,φ γύρω από διεύθυνση πρόσκρουσης
  - Αριθμός βλημάτων σε μικρό κώνο ως προς θ,φ:



- Στερεά γωνία ΔΩ: $\Delta\Omega = \frac{A}{R^2}$
  - Το τμήμα της σφαιρικής επιφάνειας, A, που ορίζει ο κώνος ως προς το τετράγωνο της ακτίνας της σφαίρας R
- Για κώνο με γωνίες [θ,θ+δθ], [φ,φ+δφ] :

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \frac{r^2 \sin\theta d\theta d\varphi}{r^2} = \sin\theta d\theta d\varphi$$



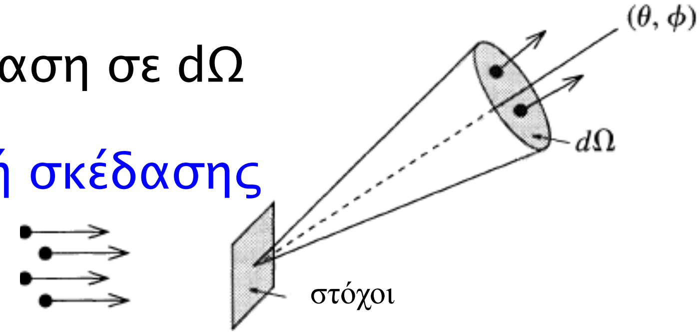
Σφαιρικός στόχος

- Μελέτη του αριθμού, $N_{\chi\tau}$, των βλημάτων που σκεδάζονται σε dΩ

$$N_{\chi\tau}(d\Omega) = N_\delta n_{\sigma\tau} d\sigma(d\Omega)$$

  - dσ: ενεργός διατομή του στόχου για σκέδαση σε dΩ

$$d\sigma(d\Omega) = \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$$ διαφορική ενεργός διατομή σκέδασης



$$N_{\chi\tau}(d\Omega) = N_\delta n_{\sigma\tau} \frac{d\sigma(\theta,\varphi)}{d\Omega} d\Omega$$

- Ολοκλήρωση των $N_{\chi\tau}$ για όλες τις δυνατές dΩ

$$\left.\begin{array}{l} N_{\chi\tau}^{tot} = \int\limits_{4\pi} N_{\chi\tau}(d\Omega) d\Omega \\ N_{\chi\tau}^{tot} = N_\delta n_{\sigma\tau} \sigma \end{array}\right\} N_\delta n_{\sigma\tau} \sigma = \int N_\delta n_{\sigma\tau} \frac{d\sigma(\theta,\varphi)}{d\Omega} d\Omega \;\Rightarrow \sigma = \int \frac{d\sigma(\theta,\varphi)}{d\Omega} d\Omega$$

$$\Rightarrow \sigma = \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \frac{d\sigma(\theta,\varphi)}{d\Omega}$$

Υπολογισμός της Διαφορικής ενεργού διατομής

- Θεωρούμε σφαιρική συμμετρία (συμμετρική σκέδαση ως προς φ)
  - dσ/dΩ ανεξάρτητη της γωνίας φ
- Αριθμός βλημάτων με παράμετρο κρούσης [b,b+db]

$$dN_\delta = N_\delta 2\pi b db$$

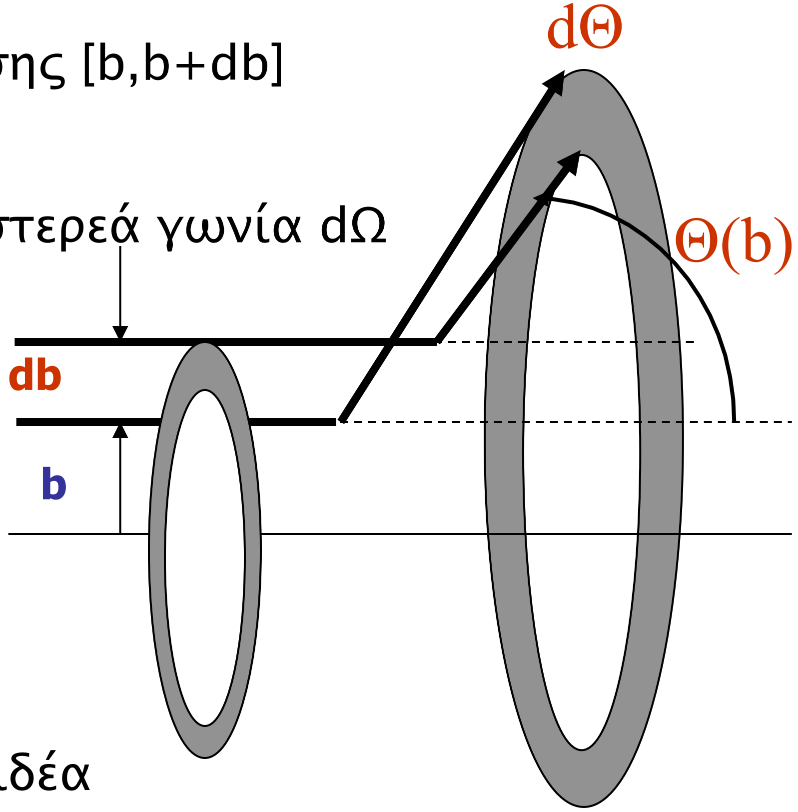
- Σκεδάζονται σε γωνίες [Θ,Θ+dΘ] στην στερεά γωνία dΩ

$$d\Omega = 2\pi \sin\Theta d\Theta$$

$$dN_\delta = N_\delta \frac{d\sigma(\Theta,\varphi)}{d\Omega} d\Omega$$

$$N_\delta 2\pi b db = N_\delta \frac{d\sigma(\Theta)}{d\Omega} 2\pi \sin\Theta d\Theta$$

$$\Rightarrow \frac{d\sigma(\Theta)}{d\Omega} = \frac{b}{\sin\Theta}\left|\frac{db}{d\Theta}\right|$$



- Εξέταση αν το αποτέλεσμα πληρεί την ιδέα περί ολικής ενεργού διατομής
  - Ολοκληρώνουμε ως προς την ολική στερεά γωνία

$$\sigma_T = \int_{4\pi} \sigma(\Omega) d\Omega \Rightarrow \sigma_T = \int_0^\pi 2\pi \sin\Theta \sigma(\Theta) d\Theta \Rightarrow \sigma_T = \int_0^\alpha 2\pi b\, db \Rightarrow \sigma_T = \pi\alpha^2$$

Ολική επιφάνεια στόχου

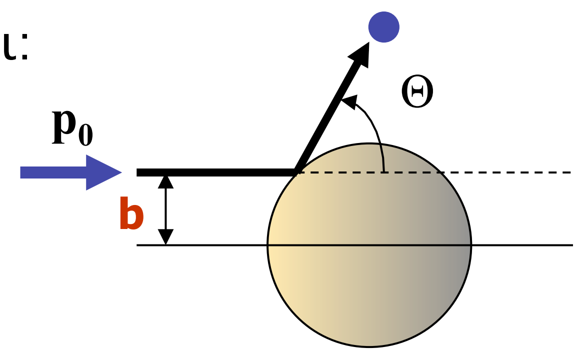
Σκέδαση υπό την επίδραση κεντρικής δύναμης

- Πως σχετίζουμε την γωνία Θ με την παράμετρο b? $\sigma(\Theta)=\dfrac{b}{\sin\Theta}\left|\dfrac{db}{d\Theta}\right|$
- Χρειάζεται να ξέρουμε την μορφή της τροχιάς για μεγάλα r

$$\frac{d^2u}{d\theta^2}+u+\frac{m}{l^2}\frac{dV\left(u^{-1}\right)}{du}=0 \quad \text{όπου} \quad u=\frac{1}{r}$$

  - Η στροφορμή l και η παράμετρος b συνδέονται:

$$l=\left|\vec{r}\times\vec{p}_0\right|=rp_0\sin\theta=bp_0$$



  - Αν υποθέσουμε ότι $V(r)\to 0$ όταν $r\to\infty$

$$E=T=\frac{p_0^2}{2m} \Rightarrow l=bp_0=b\sqrt{2mE}$$

- Γράφουμε την εξίσωση της τροχιάς συναρτήσει της παραμέτρου b και της E

$$\frac{d^2u}{d\theta^2}+u+\frac{1}{2b^2E}\frac{dV\left(u^{-1}\right)}{du}=0 \quad \text{Με λύση της μορφής:} \quad u=u(\theta,b,E)$$

- Για $r\to\infty$ όταν θ = Θ, τότε $u=u(\Theta,b,E)=0 \Rightarrow b=b(\Theta,E)$
- Με βάση αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε: $\sigma(\Theta,E)=\dfrac{b}{\sin\Theta}\left|\dfrac{db}{d\Theta}\right|$

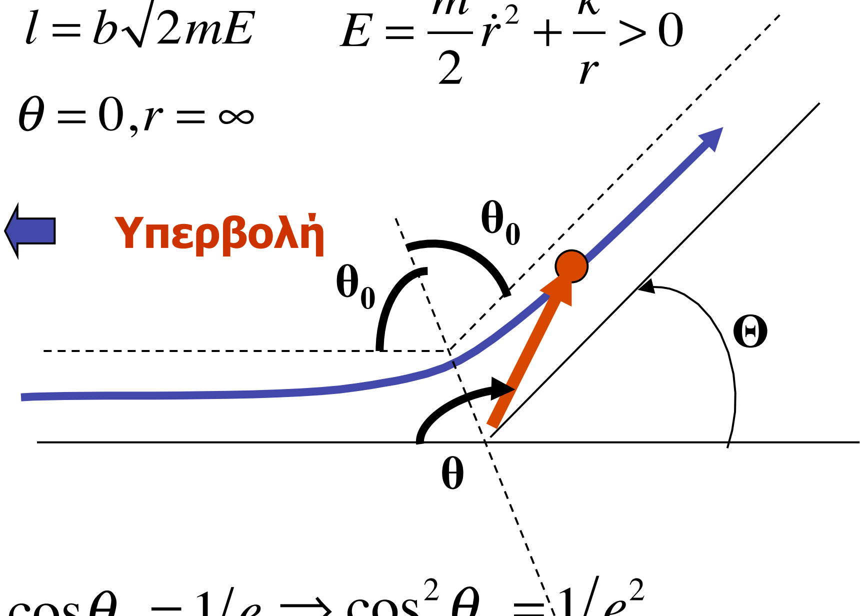
Δύναμη ανάλογη του $1/r^2$

- Θεωρήστε μια απωστική δύναμη: $F(r) = \frac{k}{r^2}$ $\quad V(r) = \frac{k}{r}$
  - Ηλεκτροστατική δύναμη μεταξύ ομώνυμων φορτίων
- Εξίσωση και λύση ίδια όπως στην περίπτωση του προβλήματος Kepler
  - Μόνο αλλαγή του προσήμου του k

$$\frac{1}{r} = -\frac{mk}{l^2}\left[1+\sqrt{1+\frac{2El^2}{mk^2}}\cos(\theta-\theta_0)\right] \qquad l = b\sqrt{2mE} \qquad E = \frac{m}{2}\dot{r}^2 + \frac{k}{r} > 0$$

$$\theta = 0, r = \infty$$

  - Ακτίνα > 0 ➡ $e = \sqrt{1+\frac{2El^2}{mk^2}} > 1$ ⬅ **Υπερβολή**



- Η λύση δίνει υπερβολή:
  - $e > 1 \rightarrow E > 0$
  - $1/r > 0 \rightarrow \cos(\theta-\theta_0) < -1/e$
- Για $\theta=0$ και $\theta=2\theta_0$ ➡ $u=1/r=0$ ➡ $\cos\theta_0 = 1/e \Rightarrow \cos^2\theta_0 = 1/e^2$
- Η γωνία σκέδασης είναι: $\Theta = \pi - 2\theta_0 \Rightarrow \theta_0 = \frac{\pi}{2} - \frac{\Theta}{2}$

$$\Rightarrow 1+\tan^2\theta_0 = e^2 \Rightarrow \tan\theta_0 = \sqrt{e^2-1} \Rightarrow \cot\frac{\Theta}{2} = \sqrt{e^2-1} = \frac{2Eb}{k} \quad ➡ \quad b = \frac{k}{2E}\cot\frac{\Theta}{2}$$

Διαφορική ενεργός διατομή

- Η διαφορική ενεργός διατομή είναι:

$$\sigma(\Theta)=\frac{b}{\sin\Theta}\left|\frac{db}{d\Theta}\right|=\frac{1}{\sin\Theta}\left(\frac{k}{2E}\right)^2\cot\frac{\Theta}{2}\,\frac{d}{d\Theta}\left(\cot\frac{\Theta}{2}\right)\Rightarrow\sigma(\Theta)=\frac{1}{4}\left(\frac{k}{2E}\right)^2\frac{1}{\sin^4\frac{\Theta}{2}}$$

- Η σκέδαση σωματιδίων με φορτία Ze και Z'e δίνει: $k=ZZ'e^2$

$$\boxed{\sigma(\Theta)=\frac{1}{4}\left(\frac{ZZ'e^2}{2E}\right)^2\frac{1}{\sin^4\frac{\Theta}{2}}}$$

Σκέδαση Rutherford

α–σωματίδια (Z'=2) σκεδάστηκαν από ατομικούς πυρήνες με Z

Απόδειξη της ύπαρξης πυρήνων

- Πριν την ανακάλυψη του Rutherford:
  - Ηλεκτρόνια ήταν γνωστά
  - Θετικά φορτία στο εσωτερικό των ατόμων – άγνωστη η κατανομή
- Η μέτρηση της ενεργού διατομής σκέδασης Rutherford έδειξε:
  - Θετικό φορτίο +Ze συγκεντρωμένο σε ένα σωμάτιο
  - Z σωμάτια με +e φορτίο το καθένα θα έδιναν: $\sigma(\Theta)=\frac{Z}{4}\left(\frac{Z'e^2}{2E}\right)^2\frac{1}{\sin^4\frac{\Theta}{2}}$
  - Ανακάλυψη πυρήνων

Ολική ενεργός διατομή

- Ολοκλήρωση της ενεργού διατομής σκέδασης Rutherford δίνει:

$$\sigma_T = \int_{4\pi} \sigma(\Omega) d\Omega = \int_0^{\pi} 2\pi \sin\Theta \frac{1}{4}\left(\frac{ZZ'e^2}{2E}\right)^2 \frac{1}{\sin^4\frac{\Theta}{4}} d\Theta$$

$$\Rightarrow \sigma_T = 2\pi\left(\frac{ZZ'e^2}{2E}\right)^2 \int_0^1 \frac{d\left(\sin^2\frac{\Theta}{2}\right)}{\sin^3\frac{\Theta}{2}} \boxed{\Rightarrow \sigma_T = \infty}$$

- Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι μεγάλης εμβέλειας
- Το σωματίδιο δέχεται πάντοτε κάποια απόκλιση ανεξάρτητα από το πόσο μεγάλη είναι η παράμετρος πρόσκρουσης, b

- Στην πραγματικότητα: το ηλεκτροστατικό πεδίο προστατεύεται από τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα

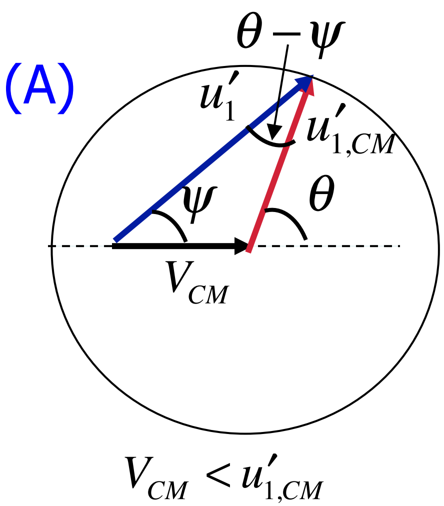
  ↳ η ενεργός διατομή είναι πεπερασμένη και δεν απειρίζεται

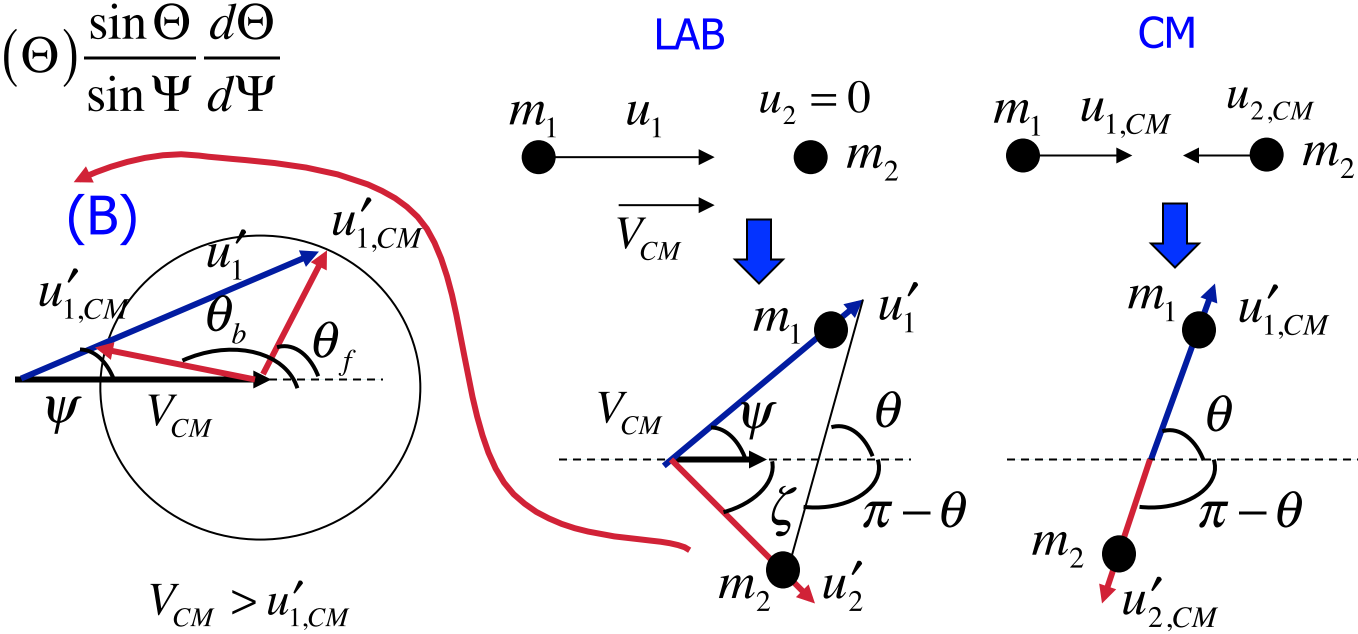
Σκέδαση – σύστημα CM και εργαστηρίου

- Οι προηγούμενες εξισώσεις ισχύουν για σκέδαση στο σύστημα CM
- Αριθμός σωματιδίων που σκεδάζονται στο CM = αριθμό σωματιδίων που σκεδάζονται στο σύστημα εργαστηρίου (LAB)
- Αλλάζει η γωνία σκέδασης θεωρώντας τα 2 συστήματα

$$\sigma_{CM}(\Theta)d\Omega_{CM} = \sigma_{LAB}(\Psi)d\Omega'_{LAB} \Rightarrow \sigma_{CM}(\Theta)2\pi\sin\Theta d\Theta = \sigma_{LAB}(\Psi)2\pi\sin\Psi d\Psi$$

$$\Rightarrow \sigma_{LAB}(\Psi) = \sigma_{CM}(\Theta)\frac{\sin\Theta}{\sin\Psi}\frac{d\Theta}{d\Psi}$$





- Μια περίπτωση για ψ και θ
- Δυο περιπτώσεις για θ (θ_b,θ_f) και 1ψ ⇒ Το σώμα σκεδάζεται πάντοτε με ψ<π/2 στο LAB

Σύστημα CM και εργαστηρίου

- Από το σχήμα (A) και τον νόμο των ημιτόνων έχουμε:

$$\frac{\sin\psi}{u'_{1,CM}} = \frac{\sin(\theta-\psi)}{V_{CM}} \Rightarrow \frac{\sin(\theta-\psi)}{\sin\psi} = \frac{V_{CM}}{u'_{1,CM}} \qquad (1)$$

- Από τον ορισμό του CM: $\vec{R} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2}{m_1+m_2} \Rightarrow M\vec{V}_{CM} = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 \Rightarrow \vec{V}_{CM} = \frac{m_1\vec{u}_1}{M}$ (2)

- Στο σύστημα αναφοράς του CM $\vec{u}_{1,CM} = \vec{u}_1 - \vec{V}_{CM} \Rightarrow \vec{u}_{1,CM} = \frac{m_2}{m_1+m_2}\vec{u}_1$ (3)

$$\vec{u}_{2,CM} = \vec{u}_2 - \vec{V}_{CM} \Rightarrow \vec{u}_{2,CM} = -\frac{m_1\vec{u}_1}{m_1+m_2}$$

- Μετά την σκέδαση (CM) $\left|u'_{1,CM}\right| = \left|u_{1,CM}\right|$ και $\left|u'_{2,CM}\right| = \left|u_{2,CM}\right|$ (4)

- Από (2), (3) και (4) η (1) γίνεται: $\frac{\sin(\theta-\psi)}{\sin\psi} = \frac{m_1}{m_2} = x$
- Θέτουμε το διαφορικό: $dx = 0 \Rightarrow \frac{\partial x}{\partial\psi}d\psi + \frac{\partial x}{\partial\theta}d\theta = 0$

$$\Rightarrow \frac{d\theta}{d\psi} = \frac{\sin(\theta-\psi)\cos\psi}{\cos(\theta-\psi)\sin\psi} + 1 \Rightarrow \frac{d\theta}{d\psi} = \frac{\sin\theta}{\cos(\theta-\psi)\sin\psi}$$

- Αντικατάσταση στην εξίσωση της $\sigma_{LAB}(\psi)$: $\sigma_{LAB}(\psi) = \sigma_{CM}(\Theta)\frac{\sin^2\theta}{\cos(\theta-\psi)\sin^2\psi}$

Σύστημα CM και εργαστηρίου

- Πολ/ζουμε την $\frac{\sin(\theta-\psi)}{\sin\psi}=\frac{m_1}{m_2}=x$ με $\cos(\psi)$ και προσθέτουμε $\cos(\theta-\psi)$

$$\frac{\sin(\theta-\psi)\cos\psi}{\sin\psi}+\cos(\theta-\psi)=x\cos\psi+\cos(\theta-\psi)\Rightarrow\frac{\sin\theta}{\sin\psi}=x\cos\psi+\cos(\theta-\psi)$$

- Αντικαθιστούμε στην $\sigma_{LAB}(\psi)=\sigma_{CM}(\Theta)\frac{\sin^2\theta}{\cos(\theta-\psi)\sin^2\psi}$

$$\left.\begin{array}{l}\sigma_{LAB}(\psi)=\sigma_{CM}(\Theta)\dfrac{\left[x\cos\psi+\cos(\theta-\psi)\right]^2}{\cos(\theta-\psi)}\\ \text{Από } \dfrac{\sin(\theta-\psi)}{\sin\psi}=\dfrac{m_1}{m_2}=x\Rightarrow\cos(\theta-\psi)=\sqrt{1-x^2\sin^2\psi}\end{array}\right\}$$

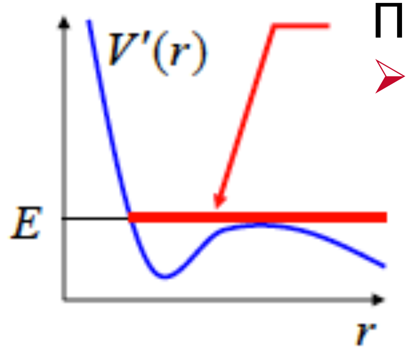
$$\sigma_{LAB}(\psi)=\sigma_{CM}(\Theta)\frac{\left[x\cos\psi+\sqrt{1-x^2\sin^2\psi}\right]^2}{\sqrt{1-x^2\sin^2\psi}}$$

Τέλος μπορούμε να γράψουμε: $\theta=\sin^{-1}(x\sin\psi)+\psi$

Ελκτική δύναμη

- Απωστικές δυνάμεις μπορούν να σκεδάσουν μόνο κατά γωνίες $0<\Theta<\pi$
- Μια ελκτική δύναμη μπορεί να κάνει περισσότερα
  - Αν το δυναμικό και η ενέργεια έχουν κάποιες τιμές, το σωματίδιο μπορεί να κάνει πολλαπλές στροφές πρίν εξέλθει

  - Αυτό καλείται σπιροειδές



Περιοχή σπιροειδούς κίνησης:

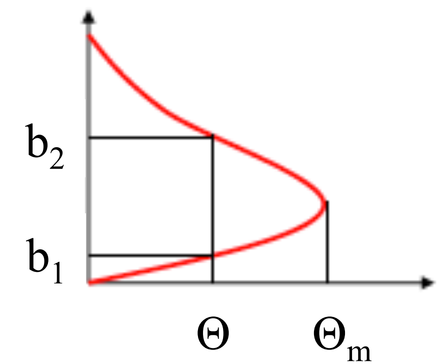
- E–V' μικρή τιμή ➡ r αλλάζει πολύ αργά

Σκέδαση ουράνιου τόξου

- Η εξίσωση της διατομής σκέδασης, σ(Θ), υποθέτει ότι b(Θ) μονότιμη
  - Ισχύει για την περίπτωση της σκέδασης Rutherford
- Αν η b(Θ) μή μονότονη

$$\sigma(\Theta) = \sum_i \left|\frac{b_i}{\sin\Theta}\right|\left|\frac{db_i}{d\Theta}\right|$$

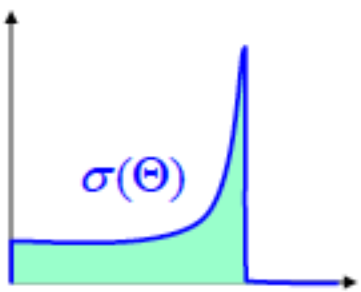
Άθροισμα για όλα τα πιθανά b



- Στο μέγιστο $\Theta = \Theta_m$

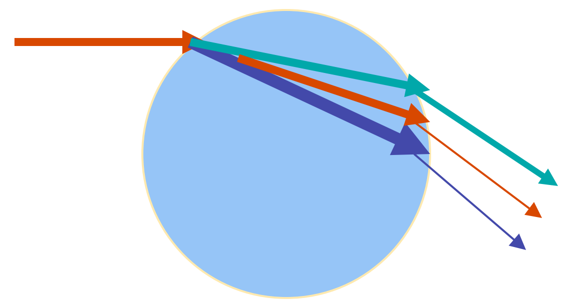
$$\frac{d\Theta}{db} = 0 \Rightarrow \sigma(\Theta) = \infty$$

- Ονομάζεται σκέδαση ουράνιου τόξου



Ουράνιο τόξο

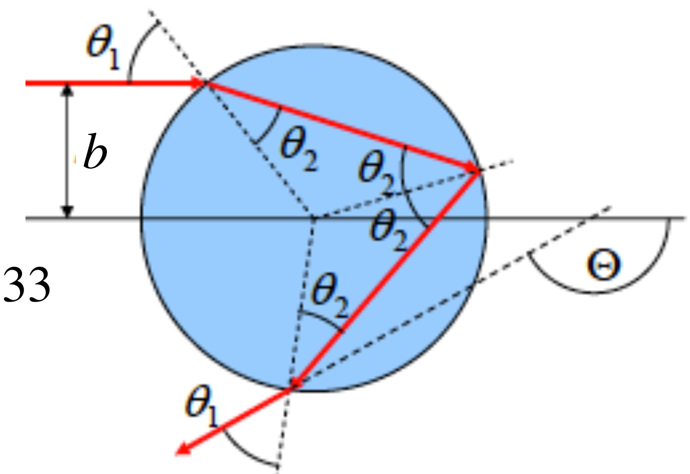
- Γνωστός ο μηχανισμός δημιουργίας του ουράνιου τόξου
  - Ωστόσο η γωνία σκέδασης εξαρτάται από τη θέση στην οποία εισέρχεται το φως στην σταγόνα
  - Αν προσθέσουμε όλες τις πιθανές θέσεις εισόδου τότε το ουράνιο τόξο δεν θα δημιουργηθεί



- Ο σχηματισμός του ουράνιου τόξου οφείλεται στο φως το οποίο ανακλάται εσωτερικά
  - Η ολική αλλαγή διεύθυνσης είναι:

    $$\Theta = 2\theta_1 - 4\theta_2 + \pi$$

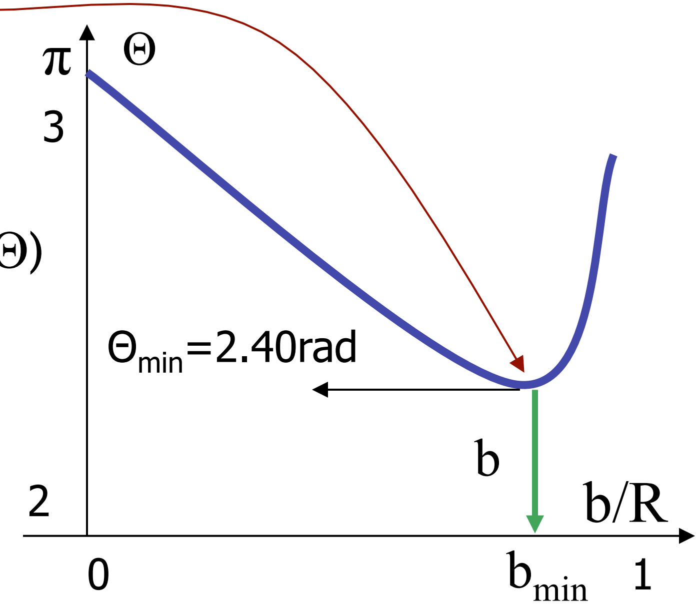
  - Αλλά $\sin\theta_1 = \dfrac{b}{R}$
  - Νόμος του Snell: $\sin\theta_1 = \eta \sin\theta_2 \qquad \eta = 1.33$
  - Θ έχει ελάχιστο για 137.5° :



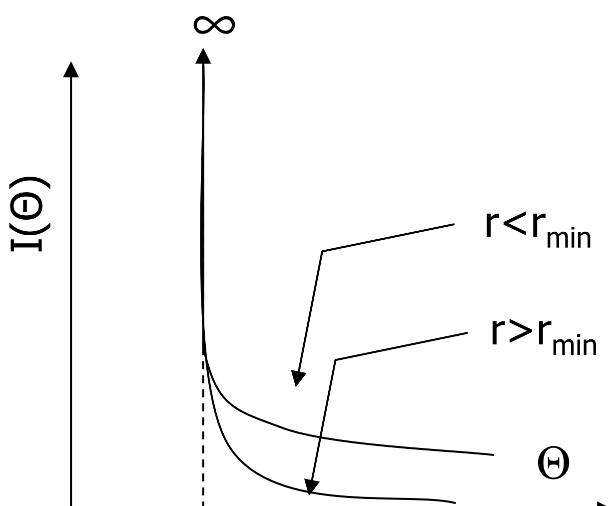
Ουράνιο τόξο

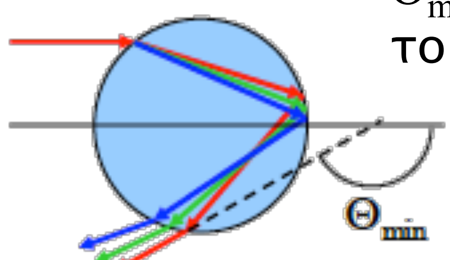
- Αν φωτίσετε μια σταγόνα νερού με ομοιόμορφο φως
  - Η κατανομή της έντασης του φωτός συναρτήσει της γωνίας Θ

$$I(\Theta) \propto \frac{b}{\sin\Theta}\boxed{\left|\frac{db}{d\Theta}\right|}$$ απειρίζεται στο σημείο καμπής



- Στο Θ_{min} → Οξεία κορυφή στην ένταση I(Θ)





- Ανάκλαση παρατηρείται μόνο στο Θ_{min} – αυτό εξαρτάται από το η το η εξαρτάται από το λ
  - Πραγματικός μηχανισμός δημιουργίας ουράνιου τόξου