

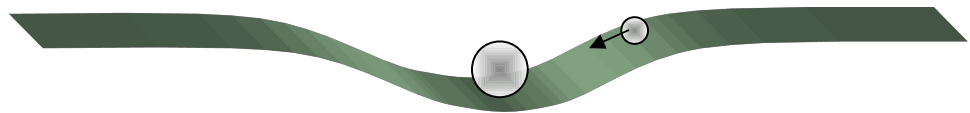
Ατομική Δομή

Το μοντέλο του Rutherford για το άτομο

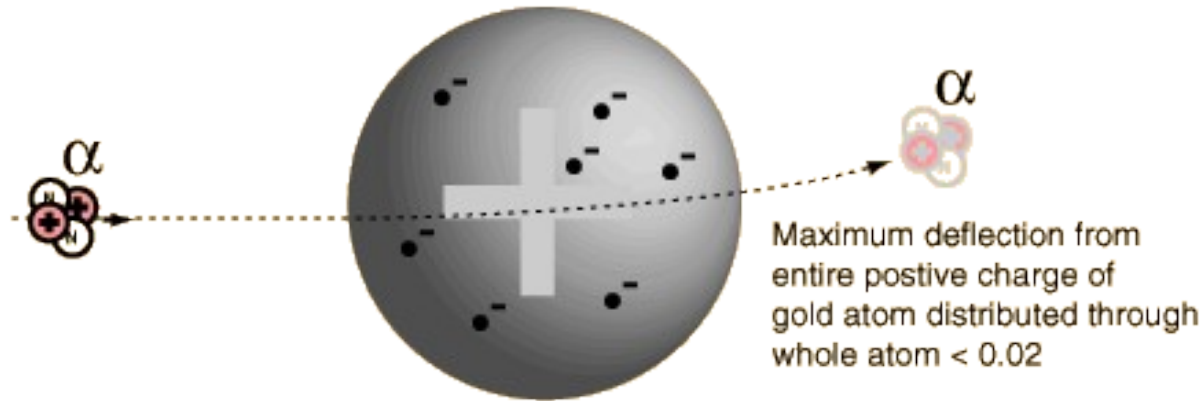
Σκέδαση Σωματίων α

Σχέση Σκέδασης Rutherford

Πυρηνικές Διαστάσεις



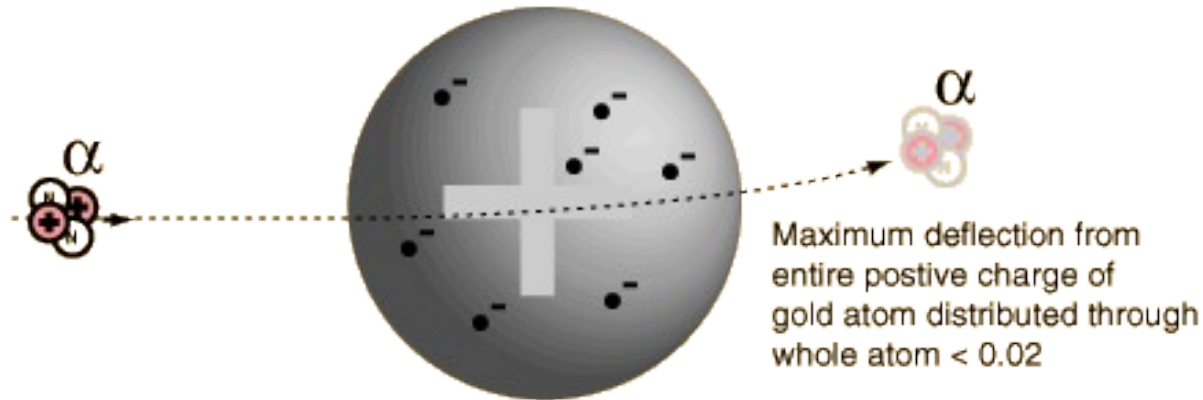
Το μοντέλο Thomson



Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου το 1897 και η αναγνώριση ότι όλα τα άτομα περιέχουν ηλεκτρόνια αποτέλεσαν την πρώτη σπουδαία ενδοσκόπηση στην ατομική δομή.

Επειδή τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο ενώ τα άτομα είναι ουδέτερα, θεωρήθηκε ότι θετικά φορτισμένη ύλη πρέπει επίσης να είναι παρούσα στο άτομο.

Το μοντέλο Thomson



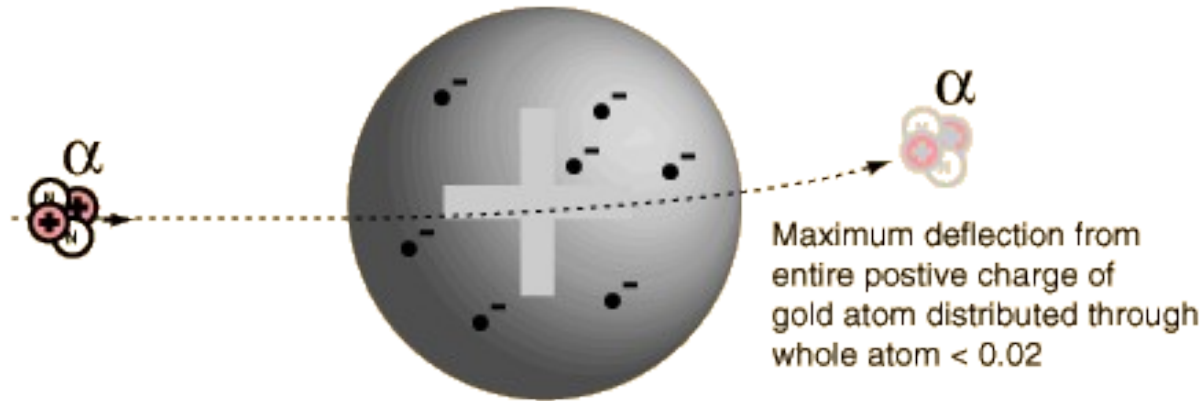
Το ατομικό μοντέλο Thomson

Το 1898 ο J.J. Thomson υποστήριξε ότι το άτομο ήταν μία θετικά φορτισμένη άμορφη μάζα με πασπαλισμένα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια μέσα σε αυτό, ένα «κέικ με σταφίδες» το μοντέλο του «σταφιδόψωμου».

Ο Rutherford πρότεινε να χρησιμοποιηθούν ταχέα σωμάτια α ως ιχνηθέτες.

Τα σωμάτια α αναμένονταν να περάσουν διαμέσου του φύλλου χωρίς καμία σκέδαση

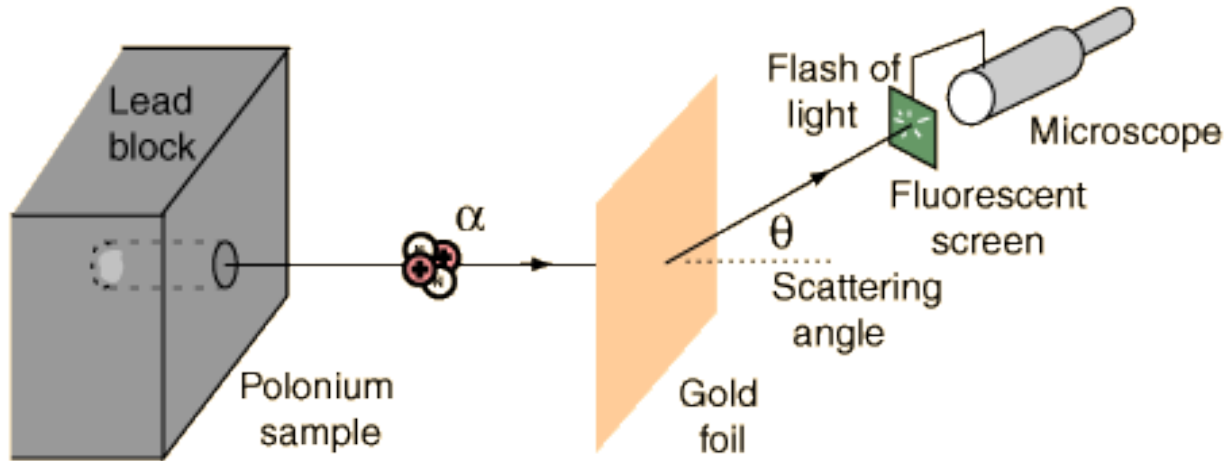
Το μοντέλο Thomson



Το ατομικό μοντέλο Thomson

Η διατήρηση της ορμής και ενέργειας για μία ελαστική σύγκρουση υπαγορεύουν ότι η γωνία πρέπει να είναι μικρότερη από 90 μοίρες αν το βλήμα έχει μεγαλύτερη μάζα από το στόχο. Αλλά στο πείραμα σκέδασης Rutherford, Geiger και Marsden 1 στους 8.000 σωματίδια άλφα σκεδάζονταν σε γωνία $> 90^\circ$.

Σκέδαση Rutherford

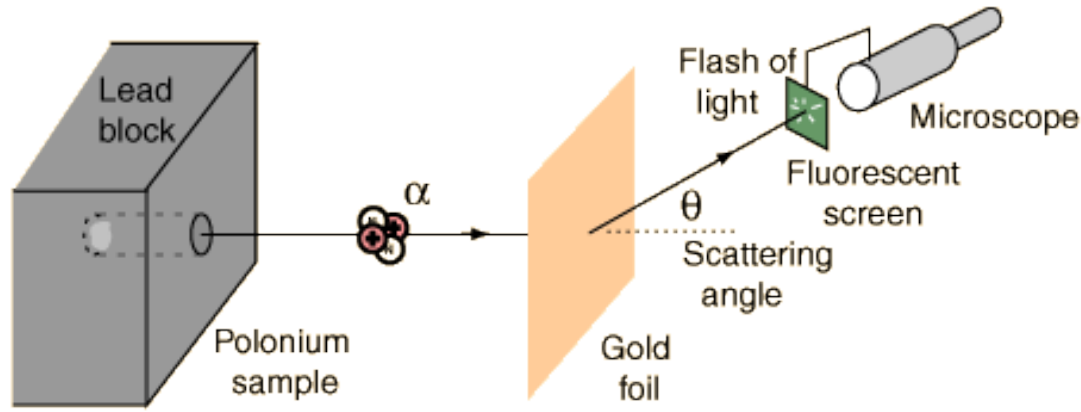


Πειραματική Διάταξη Geiger-Marsden

Οι Geiger και Marsden τοποθέτησαν ένα ραδιενεργό υλικό που εξέπεμπε σωματία α από μια οθόνη μολύβδου με μια μικρή οπή. Μια λεπτή δέσμη σωματιδίων α κατευθύνεται σε ένα λεπτό φύλλο χρυσού. Στην απέναντι πλευρά τοποθετήθηκε οθόνη θείουχου ψευδαργύρου που ελευθερώνει ορατό φως όταν χτυπηθεί από ένα σωματίο α .

Παραδόξως τα σωματία α βρέθηκαν να σκεδάζονται και σε μεγάλες γωνίες ακόμα και να οπισθοσκεδάζονται.

Σκέδαση Rutherford



Πειραματική Διάταξη Geiger-Marsden

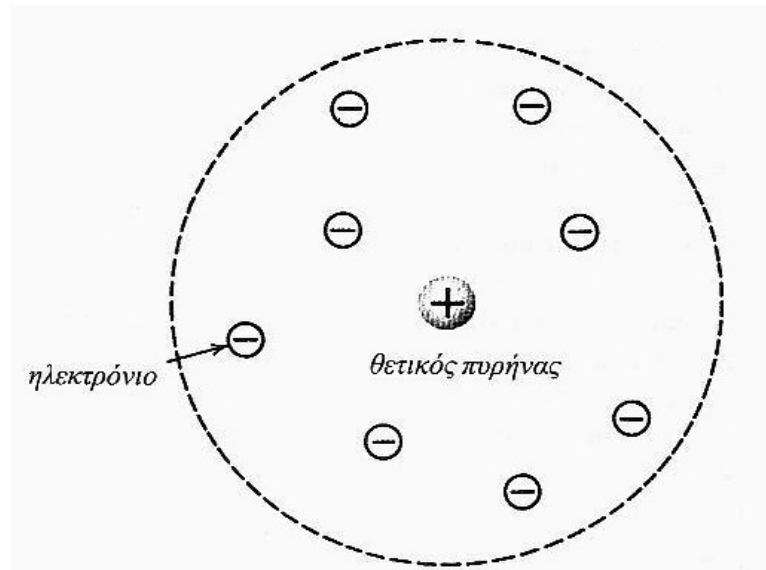
Τα σωμάτια α αναμένονταν να περάσουν διαμέσου του φύλλου χωρίς καμία σκέδαση

Αυτό ήταν σύμφωνο με το μοντέλο Thomson, στο οποίο το ηλεκτρικό φορτίο μέσα στο άτομο υποτίθεται ότι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο

Με την προϋπόθεση της ύπαρξης μόνο ηλεκτρικών δυνάμεων, τα σωμάτια έπρεπε να περάσουν μέσα από το φύλλο και να σκεδαστούν το πολύ κατά 1° .

Στην πραγματικότητα οι Geiger και Marsden βρήκαν ότι τα περισσότερα σωμάτια περνούν από το φύλλο, λίγα σκεδάζονται και κάποια οπισθοσκεδάζονται.

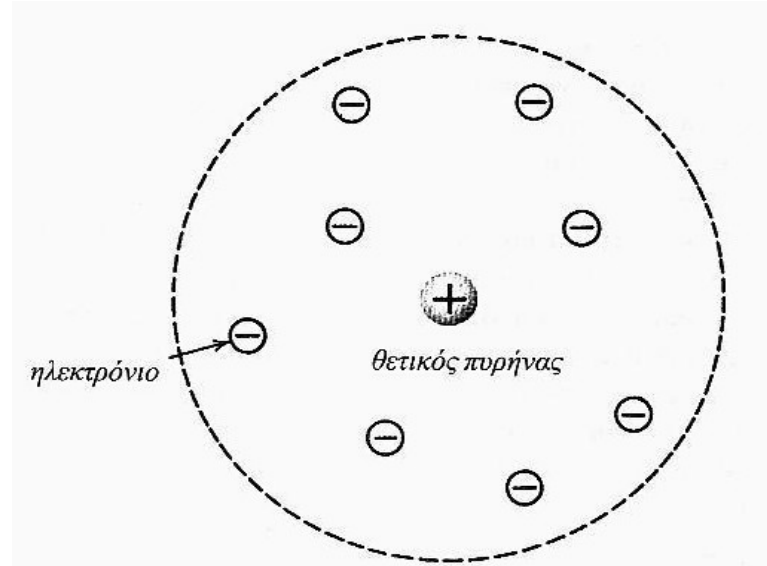
Μοντέλο Rutherford για το άτομο



Επειδή τα σωμάτια α είναι σχετικά βαριά (>7000 μάζες ηλεκτρονίων), έπρεπε ισχυρές δυνάμεις να εξασκούνται πάνω σε αυτά ώστε να οπισθοσκεδάζονται.

Ο μόνος τρόπος για να εξηγηθούν τα αποτελέσματα αυτά ήταν να υποθέσουν ότι το άτομο αποτελείται από έναν πολύ μικρό πυρήνα στον οποίο εμπεριέχεται όλη η μάζα του και όλο το θετικό του φορτίο, ενώ τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε κάποια απόσταση.

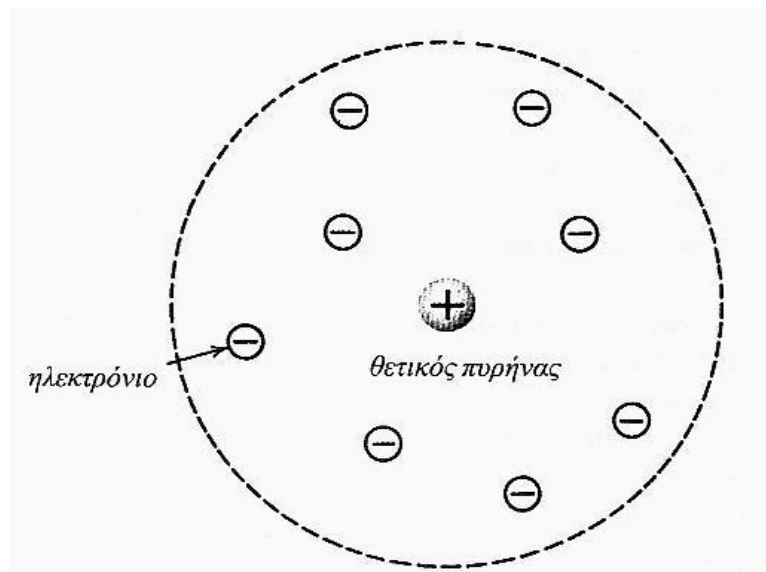
Σκέδαση Rutherford



Το πείραμα αυτό έδειξε ότι η θετική μάζα των ατόμων ήταν συγκεντρωμένη σε έναν εξαιρετικά μικρό όγκο και γέννησε την ιδέα του **ατομικού πυρήνα**.

Με τον τρόπο αυτό, θα αντιπροσώπευε ένα από τα μεγάλα σημεία καμπής στην κατανόηση της φύσης.

Μοντέλο Rutherford για το άτομο



Με ένα άτομο ως επί το πλείστον να είναι άδειος χώρος, είναι εύκολο να δει κανείς γιατί τα περισσότερα σωμάτια διαπερνούν ένα λεπτό φύλλο.

Όταν όμως ένα σωμάτιο α έρθει κοντά στον πυρήνα, το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο το αναγκάζει να σκεδαστεί σε μεγάλη γωνία. Τα ατομικά e όντας ελαφρά δεν έχουν σημαντική επίδραση.

Ηλεκτρικό πεδίο στο μοντέλο Thomson και Rutherford

Σύμφωνα με το μοντέλο Thomson

Το θετικό φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στο άτομο του χρυσού και αν δεν λάβουμε υπόψη καθόλου τα ηλεκτρόνια, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του ατόμου (όπου είναι μέγιστη) είναι 10^{13}V/m .

Σύμφωνα με το μοντέλο Rutherford

Το θετικό φορτίο σε ένα άτομο χρυσού συγκεντρώνεται σε έναν μικρό πυρήνα στο κέντρο, και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του πυρήνα (όπου είναι μέγιστη) υπερβαίνει την τιμή 10^{21}V/m .

Ένα τέτοιο ισχυρό πεδίο μπορεί να αποκλίνει ακόμα και να αντιστρέψει τη διεύθυνση ενός ενεργητικού σωματιδίου α που πλησιάζει τον πυρήνα.

Πειράματα Geiger Marsden

Πληροφορίες για το πυρηνικό φορτίο

Η απόκλιση που ένα σωματίο α υφίσταται όταν περνά κοντά από έναν πυρήνα εξαρτάται από το μέγεθος του πυρηνικού φορτίου.

Συγκρίνοντας τη σχετική σκέδαση των σωματιδίων από διαφορετικούς στόχους, δίδεται το μέσο να εκτιμηθεί το πυρηνικό φορτίο των ατόμων που αποτελούν το υλικό των στόχων.

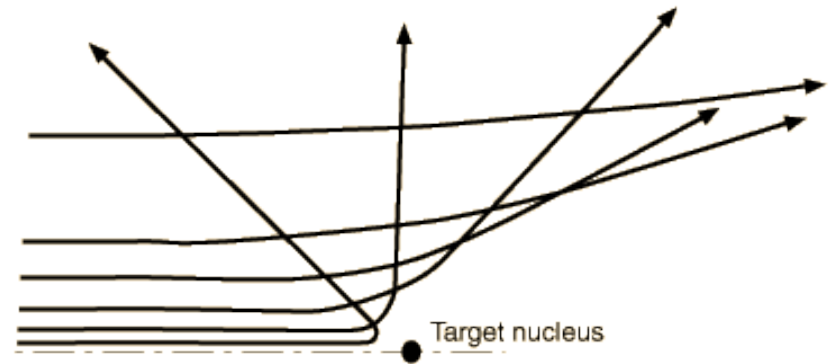
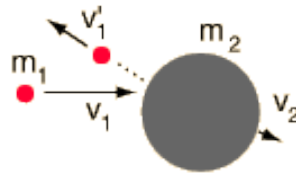
Όλα τα άτομα των στοιχείων βρέθηκαν να έχουν το ίδιο μοναδικό πυρηνικό φορτίο το οποίο αυξάνεται κανονικά από στοιχείο σε στοιχείο του περιοδικού πίνακα.

Τα πυρηνικά φορτία αποδεικνύεται ότι είναι πάντα πολλαπλάσια του φορτίου e .

Ο αριθμός Z των θετικών μονάδων φορτίου του πυρήνα ενός στοιχείου ονομάζεται σήμερα ατομικός αριθμός. $Z = \text{αριθμός } p^+$

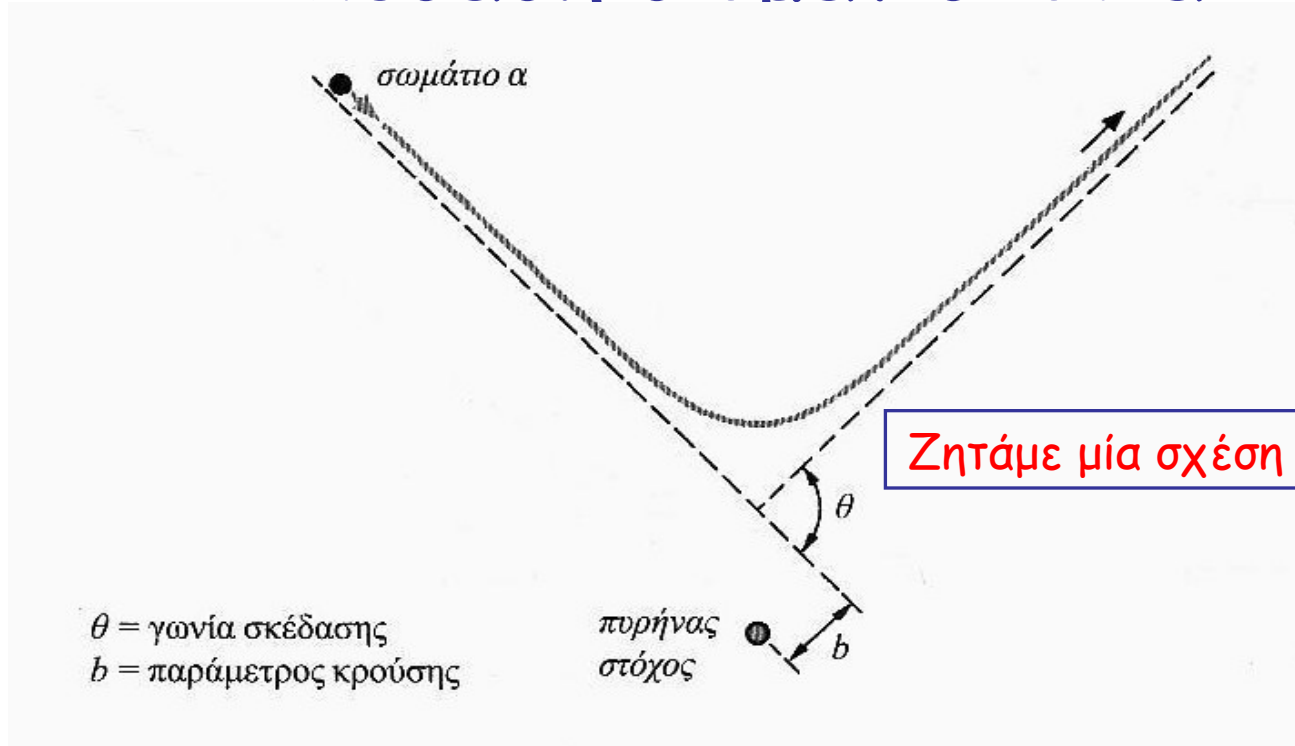
Συνθήκες σκέδασης σε μεγάλη γωνία

Ανεξάρτητα από τη φύση της δύναμης σε μία ελαστική σύγκρουση, για να πάρουμε μια γωνία σκέδασης μεγαλύτερη από 90° , ο στόχος πρέπει να έχει πολύ μεγαλύτερη μάζα (m_2) από το βλήμα (m_1).



Εκτός από τις μάζες του στόχου και τα βλήματα, η γωνία σκέδασης εξαρτάται από την δύναμη και από την παράμετρο κρούσης.

Σκέδαση σωματιδίων α

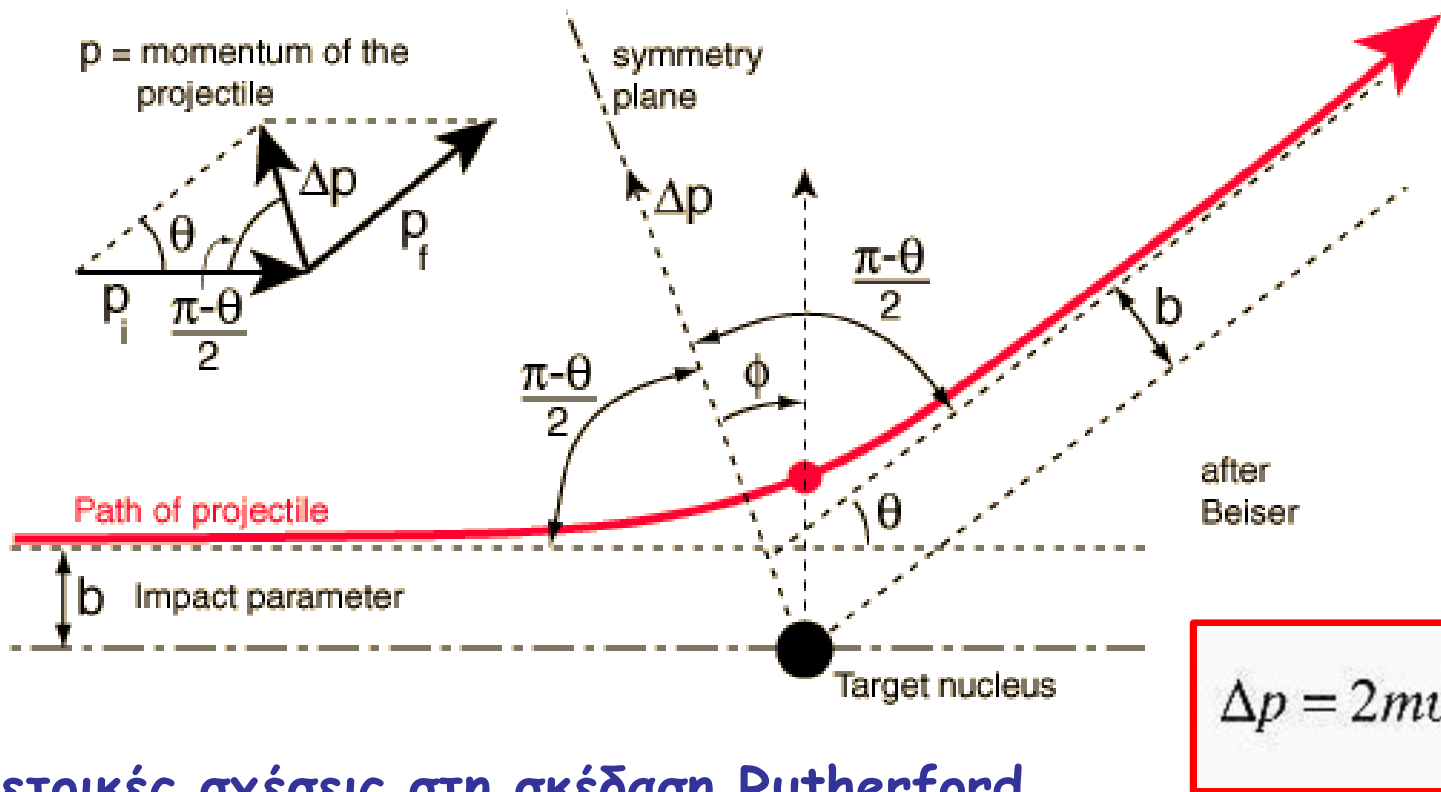


Παράμετρος κρούσης και γωνία σκέδασης

Η παράμετρος κρούσης, b , είναι η ελάχιστη απόσταση στην οποία το σωματίο α θα πλησιάσει τον πυρήνα εάν δεν υπήρχε δύναμη μεταξύ τους

Γωνία σκέδασης θ είναι η γωνία μεταξύ της ασυμπτωτικής διεύθυνσης άφιξης και της ασυμπτωτικής διεύθυνσης απομάκρυνσης.

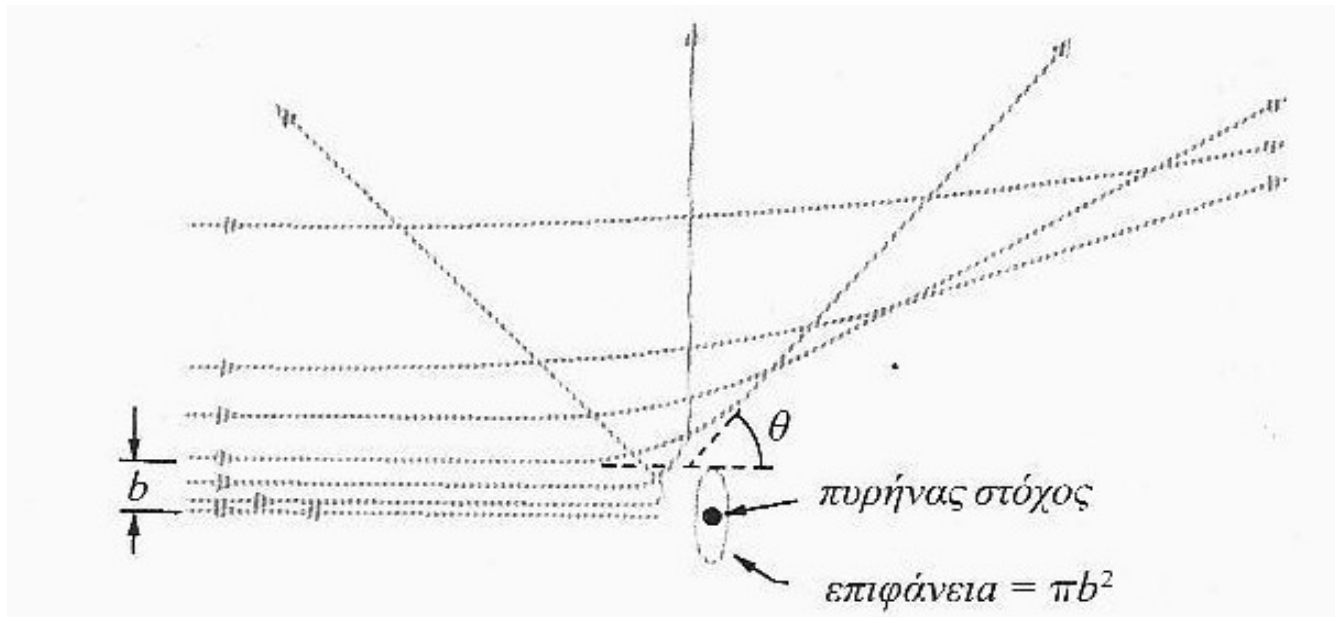
Γεωμετρία Σκέδασης Rutherford



Γεωμετρικές σχέσεις στη σκέδαση Rutherford

Η σκέδαση των σωματιδίων άλφα από την κεντρική απωστική δύναμη Coulomb οδηγεί σε υπερβολική τροχιά. Από τη γωνία σκέδασης και την ορμή, μπορεί κανείς να υπολογίσει την παράμετρο κρούσης, b , και την πλησιέστερη προσέγγιση στον πυρήνα-στόχο.

Γωνία σκέδασης και παράμετρος κρούσης

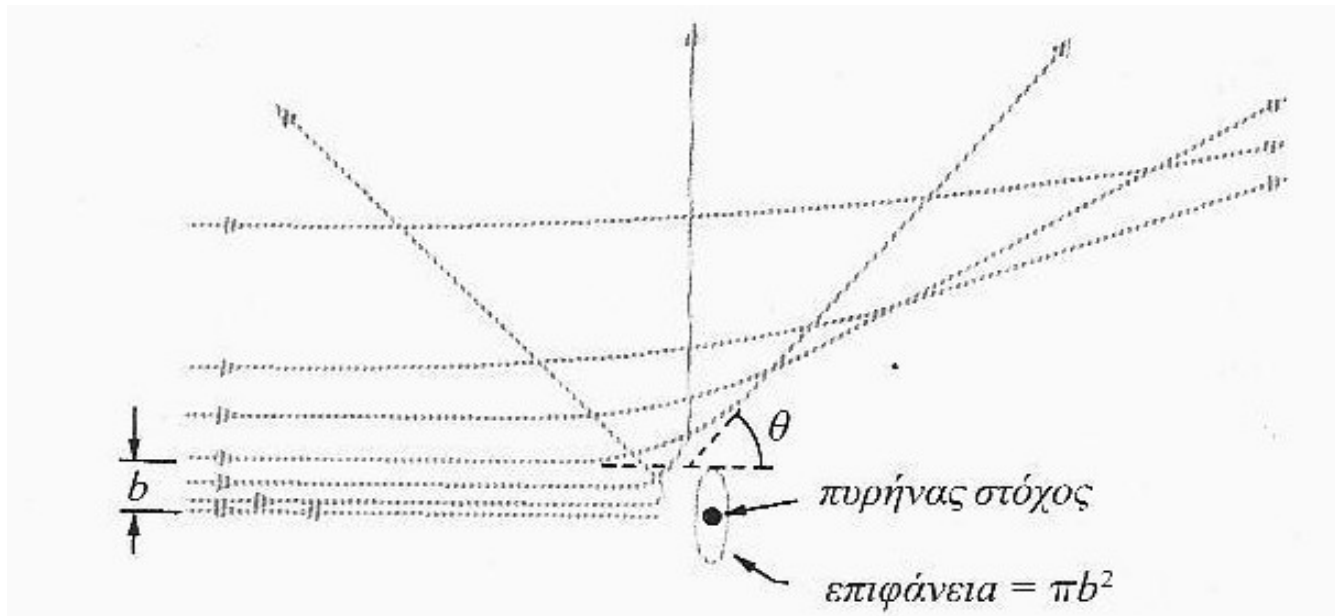


Η γωνία σκέδασης ελαττώνεται με την αύξηση της παραμέτρου κρούσης

Γωνία σκέδασης

$$\cot \frac{\theta}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 K}{Ze^2} b$$

Γωνία σκέδασης και παράμετρος κρούσης



Γωνία σκέδασης

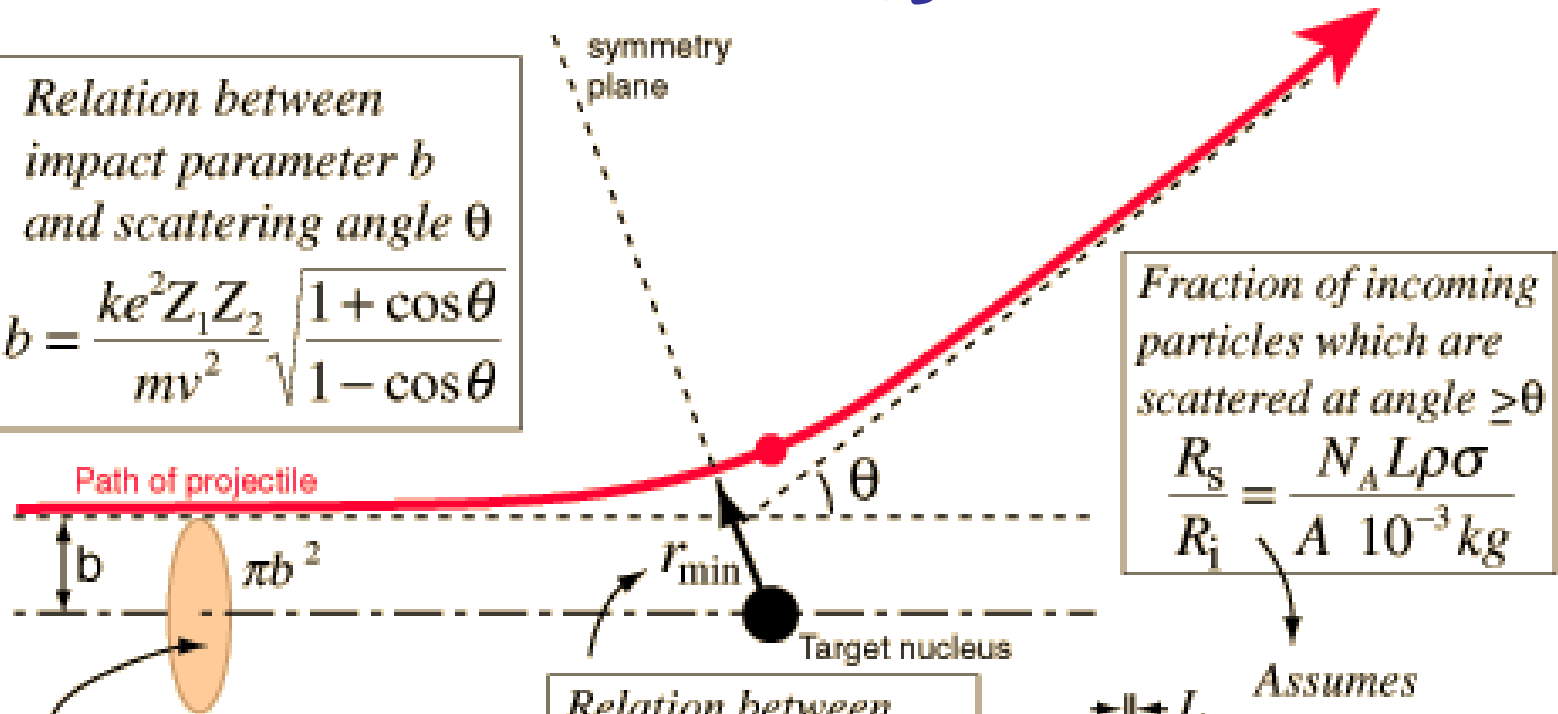
$$\cot \frac{\theta}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 K}{Ze^2} b$$

Η εξίσωση της γωνίας σκέδασης δεν μπορεί απευθείας να συγκριθεί με το πείραμα διότι δεν υπάρχει τρόπος να μετρήσει κανείς την παράμετρο κρούσης που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη γωνία σκέδασης.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΟΙ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ

Relation between impact parameter b and scattering angle θ

$$b = \frac{ke^2 Z_1 Z_2}{mv^2} \sqrt{\frac{1 + \cos\theta}{1 - \cos\theta}}$$



Path of projectile

b

πb^2

r_{\min}

Target nucleus

Fraction of incoming particles which are scattered at angle $\geq \theta$

$$\frac{R_s}{R_i} = \frac{N_A L \rho \sigma}{A \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$\sigma = \pi b^2$$

$$\sigma = \pi \left(\frac{ke^2 Z_1 Z_2}{2 KE} \right)^2 \left(\frac{1 + \cos\theta}{1 - \cos\theta} \right)$$

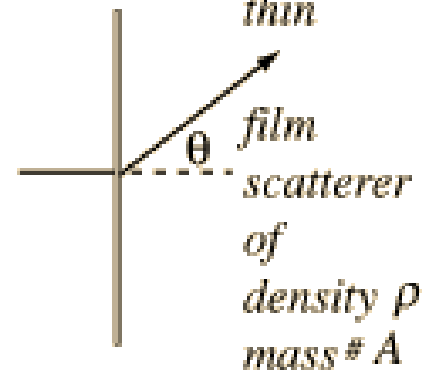
Cross section for scattering above angle θ

Relation between impact parameter b and closest approach

$$r_{\min} = \frac{b \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{1 - \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

L

Assumes thin

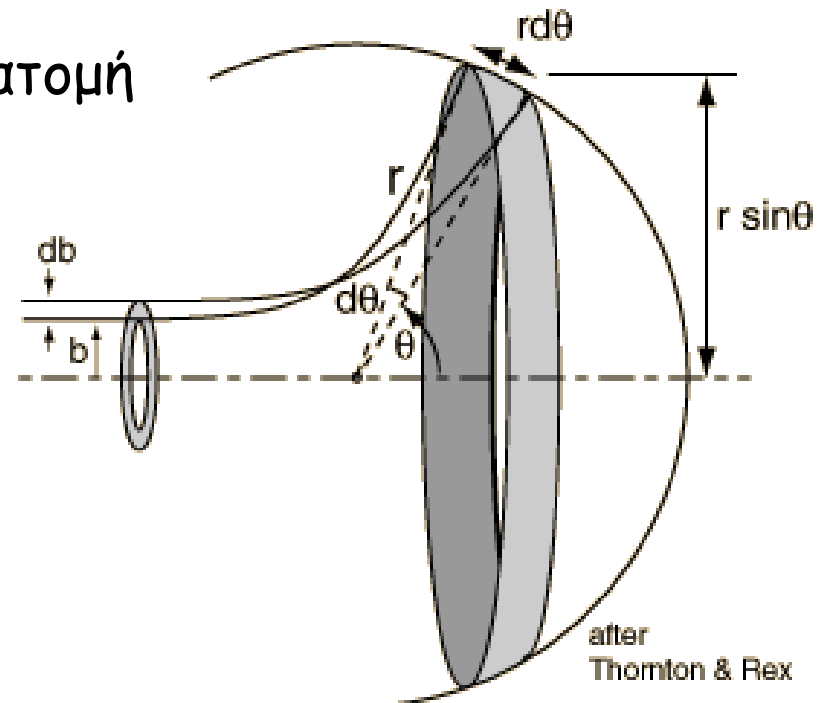


Ενεργός Διατομή σκέδασης

Όλα τα σωματία a που πλησιάζουν έναν πυρήνα του στόχου με παράμετρο κρούσης από τιμή 0 έως b θα σκεδαστούν κατά μία γωνία μεγαλύτερη από θ .

Αυτό σημαίνει ότι ένα σωματίο a που αρχικά διευθύνεται μέσα σε μια επιφάνεια πb^2 γύρω από τον πυρήνα θα σκεδαστεί κατά μία γωνία μεγαλύτερη από θ .

Η επιφάνεια πb^2 ονομάζεται ενεργός διατομή



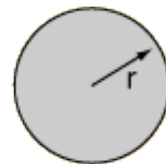
Ενεργός Διατομή σκέδασης

Η έννοια της ενεργούς διατομής σκέδασης, όπως υποδηλώνει και το όνομά της, είναι αυτό της δραστηρικής επιφάνειας σύγκρουσης. Η ενεργός διατομή ενός σφαιρικού στόχου είναι: $\sigma = \pi r^2$.

Οι μονάδες της ενεργού διατομής είναι επομένως μονάδες επιφάνειας, αλλά για την πυρηνική σκέδαση η ενεργός επιφάνεια είναι της τάξης της ενεργού διατομής του πυρήνα. Για τον πυρήνα του χρυσού με μαζικό αριθμό $A = 197$, η ακτίνα καθορίζεται από το σχέση της πυρηνικής ακτίνας ($r = r_0 A^{1/3}$) και είναι περίπου 7 fermis.

The most common unit for cross section for nuclear scattering interactions is the barn

$$1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ cm}^2$$



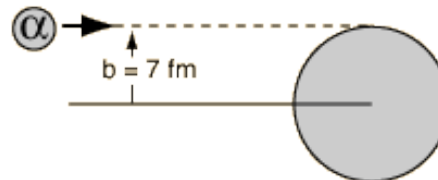
Gold nucleus
 $Z=79, A=197$

$$r = 7 \text{ fermi} = 7 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$A = \pi r^2 = 154 \text{ fermi}^2 = 1.54 \times 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$A = 1.54 \text{ barns}$$

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



A 6 MeV alpha particle approaching a gold nucleus with an impact parameter equal to the gold nuclear radius of 7 fm would be scattered through an angle of almost 140° . We would say that the cross section for scattering at or greater than 140° is 1.54 barns.

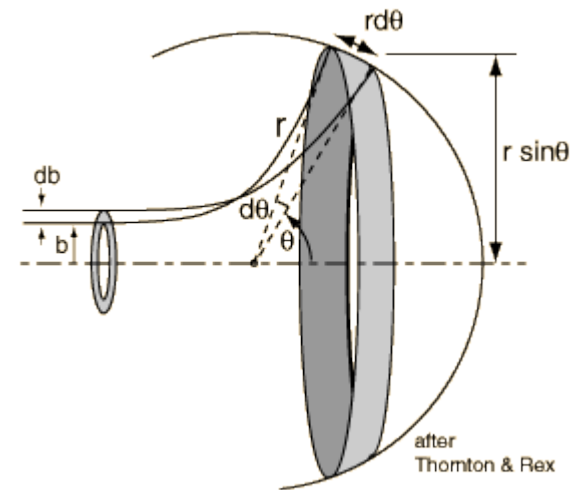
Εξάρτηση της παραμέτρου κρούσης από την ενεργό διατομή σκέδασης

Η γωνία σκέδασης στη σκέδαση Rutherford εξαρτάται από την παράμετρο κρούσης, με τη μεγαλύτερη εκτροπή για τις μικρότερες τιμές παραμέτρου κρούσης.

Η επιφάνεια ενός κύκλου ακτίνας = b = παράμετρος κρούσης είναι τότε η ενεργός διατομή για σκέδαση πάνω από τις γωνίες που συνδέονται με b , δεδομένου ότι κάθε σωματίδιο που φθάνει με r λιγότερο από το b θα εκτρέπεται σε μεγαλύτερη γωνία.

Ως εκ τούτου, η ενεργός διατομή σκέδασης για σκεδάσεις σε μεγαλύτερες από την επιλεγμένη γωνία θα είναι σε μεγαλύτερη γωνία από ό,τι κάποια επιλεγμένη γωνία είναι

Note that this expression is for alpha particles with $Z_p=2$. For projectiles with another charge Z_p , then you would multiply this expression by $Z_p^2/4$.



$$\sigma = \pi Z^2 \left(\frac{ke^2}{KE} \right)^2 \left(\frac{1 + \cos \theta}{1 - \cos \theta} \right)$$

$$b = \frac{Z_1 Z_2 ke^2}{mv_0^2} \cot \frac{\theta}{2} = \frac{Z_1 Z_2 ke^2}{2 KE} \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{1 - \cos \theta}}$$

Σχέση Σκέδασης Rutherford

Η σκέδαση των α σωματιδίων από πυρήνες μπορεί να μοντελοποιηθεί από τη δύναμη Coulomb και να αντιμετωπιστεί ως μια τροχιά. Η διαδικασία σκέδασης μπορεί να αντιμετωπιστεί, από στατιστική άποψη με όρους ενεργού διατομής σκέδασης με ένα πυρήνα σημειακού φορτίου Ze . Για έναν ανιχνευτή σε μια συγκεκριμένη γωνία σε σχέση με την αρχική δέσμη, ο αριθμός των σωματιδίων ανά μονάδα επιφάνειας που φτάνουν στον ανιχνευτή δίνεται από τη σχέση του Rutherford:

$$\text{Σχέση Rutherford} \quad N(\theta) = \frac{N_i n t Z^2 e^4}{(8\pi\epsilon_0)^2 r^2 K^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

$$N(\theta) = \frac{N_i n L Z^2 k^2 e^4}{4r^2 KE^2 \sin^4(\theta/2)}$$

N_i = number of incident alpha particles

n = atoms per unit volume in target

L = thickness of target

Z = atomic number of target

e = electron charge

k = Coulomb's constant

r = target-to-detector distance

KE = kinetic energy of alpha

θ = scattering angle

Σχέση Σκέδασης Rutherford

Θεωρούμε ένα φύλλο πάχους t που περιέχει n άτομα ανά μονάδα όγκου. Ο αριθμός των πυρήνων του στόχου ανά μονάδα επιφάνειας είναι nt και ένα σωματίο α της δέσμης που πέφτει επάνω σε επιφάνεια A συναντά ntA πυρήνες.

Χονδρικά η ενεργός διατομή για σκεδάσεις κατά θ ή περισσότερο είναι ο αριθμός των πυρήνων του στόχου ntA εάν πολλαπλασιαστεί με την ενεργό διατομή σ για κάθε σκέδαση ανά πυρήνα, δηλαδή $ntA\sigma$.

Άρα το κλάσμα των προσπιπτόντων σωματίων α που σκεδάζονται κατά θ ή περισσότερο είναι ο λόγος μεταξύ της ενεργού διατομής $ntA\sigma$ και της ολικής επιφάνειας στόχου A .

$$\text{Σχέση Rutherford} \quad N(\theta) = \frac{N_i nt Z^2 e^4}{(8\pi\epsilon_0)^2 r^2 K^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

Στον παραπάνω υπολογισμό θεωρούμε ότι το φύλλο είναι επαρκώς λεπτό ώστε οι ενεργές διατομές διπλανών πυρήνων να μην αλληλεπικαλύπτονται

Και

Ότι ένα σωματίο α που σκεδάζεται αισθάνεται όλη την απόκλιση από μια συνάντηση με έναν και μόνο πυρήνα.

Σχέση Σκέδασης Rutherford

Ο αριθμός $N(\theta)$ είναι η ποσότητα των σωματιδίων a που πραγματικά μετράται ανά μονάδα επιφάνειας και που χτυπά στην οθόνη στη γωνία θ .

Ο αριθμός των σωματιδίων ανά μονάδα επιφάνειας που φτάνουν στον ανιχνευτή σε απόσταση r από το φύλλο σκέδασης, θα πρέπει να είναι ανάλογος με το πάχος του φύλλου t , τον αριθμό των ατόμων n ανά μονάδα όγκου του φύλλου και του τετραγώνου του ατομικού αριθμού Z των ατόμων του φύλλου, αντιστρόφως ανάλογος του τετραγώνου της κινητικής ενέργειας K των σωματιδίων a και του $\sin^4(\theta/2)$, όπου θ η γωνία σκέδασης.

Σχέση Rutherford

$$N(\theta) = \frac{N_i n t Z^2 e^4}{(8\pi\epsilon_0)^2 r^2 K^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

Οι προβλέψεις αυτές ήταν σύμφωνες με το πείραμα των Geiger Marsden.

Οδήγησε τον Rutherford να συμπεράνει ότι η υπόθεση του πυρηνικού ατόμου ήταν σωστή.

Γι' αυτό αναγνωρίστηκε στον Rutherford η "ανακάλυψη" του πυρήνα.

Σχέση Σκέδασης Rutherford

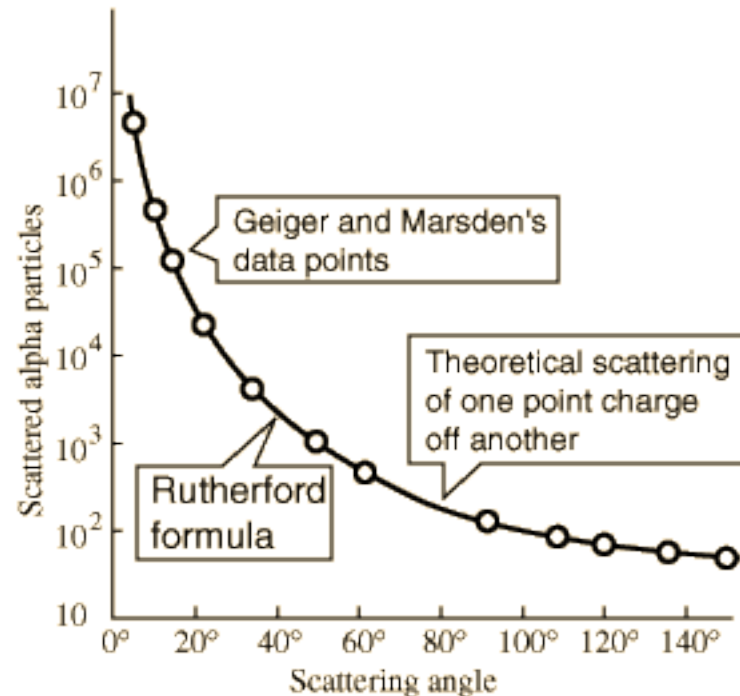
Μια άλλη κοινή μορφή για την εξίσωση Rutherford είναι μόνο η ενεργός διατομή για σκέδαση από ένα συγκεκριμένο πυρήνα.

$$\frac{d\sigma}{d \cos\theta} = \frac{\pi}{2} z^2 Z^2 \alpha^2 \left(\frac{\hbar c}{KE} \right)^2 \frac{1}{(1 - \cos\theta)^2}$$

Στην εξίσωση αυτή, η ενεργός διατομή εκφράζεται σε συνάρτηση με τη σταθερά λεπτής υφής α . Ηλεκτρομαγνητική σταθερά σύζευξης $\alpha = 2\pi k e^2 / E \lambda = 2\pi k e^2 / h c = 1/137$

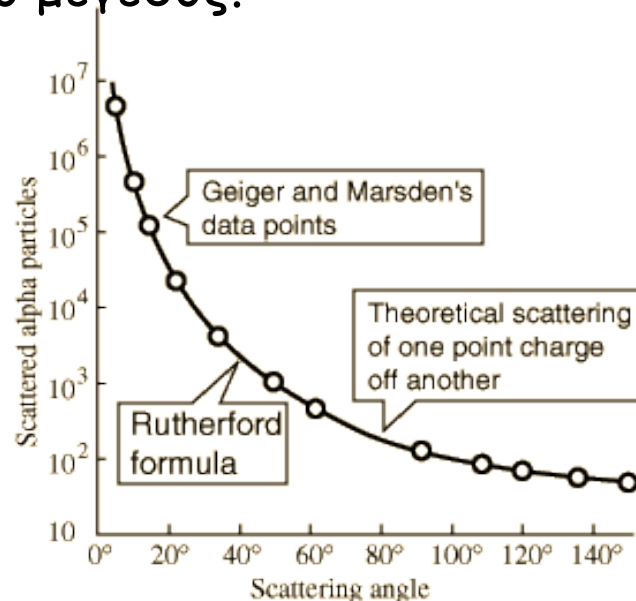
Τα αποτελέσματα των Geiger-Marsden

Οι Geiger και Marsden έδειξαν ότι ο αριθμός των σκεδαζόμενων α-σωματιδίων συναρτήσει της γωνίας σκέδασης ήταν σύμφωνος με την ύπαρξη ενός μικρού συμπυκνωμένου θετικού πυρήνα. Για γωνίες $>140^\circ$ ο πυρήνας εμφανίστηκε ως ένα σημείο θετικό φορτίο, έτσι ώστε τα δεδομένα αυτά δεν μετρούν την πυρηνική μέγεθος. Όταν η σκέδαση «ξέφυγε» από αυτόν που προβλέπει ο νόμος του Coulomb, φάνηκε ότι μια άλλη δύναμη ερχόταν στο παιχνίδι και θα μπορούσαν να ισχυριστούν ότι έχουν "χτυπήσει" τον πυρήνα. Σε γωνία 140° , ακόμα δεν τον είχαν χτυπήσει ακόμα.



Τα αποτελέσματα των Geiger-Marsden

Δεδομένου ότι είχαν χρησιμοποιήσει και τα πλέον ενεργειακά α-σωματίδια που είχαν στη διάθεσή τους, 7,7 MeV, και ακόμα δεν είχαν δει να «ξεφεύγουν» από την σκέδαση Coulomb που θα σημάνει την άμεση αλληλεπίδραση με τον πυρήνα, έπρεπε να αναζητήσουν άλλες εναλλακτικές λύσεις για να πάρουν ένα μέτρο του πυρηνικού μεγέθους. Αυτό οδήγησε σε ένα διάσημο σχόλιο του Rutherford στους μεταπτυχιακούς φοιτητές του, «Δεν υπάρχουν χρήματα για διατάξεις -. Θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα κεφάλια μας!» (Keller). Τελικά η χρήση του αλουμινίου ως πυρήνων-στόχων οδήγησε σε άμεσα μετρήσιμη οπισθοσκέδαση σωματιδίων άλφα, καθιερώνοντας έτσι τουλάχιστον ένα άνω όριο για το πυρηνικό μέγεθος.



Οι διαστάσεις του πυρήνα αλουμινίου

$PE = \frac{ke^2(2)(13)}{r_{\min}}$

$r_{\min} = \frac{ke^2 Z_1 Z_2}{KE} = \frac{(1.44 \text{ MeV} \cdot \text{fm})(2)(13)}{7.7 \text{ MeV}}$

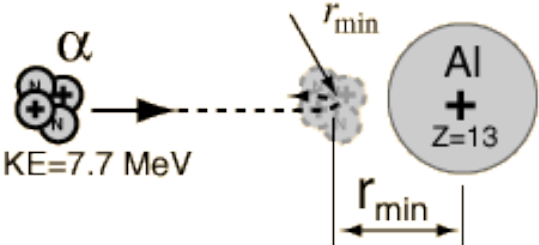
$r_{\min} = 4.86 \text{ fermi} = 4.86 \times 10^{-15} \text{ m}$

Αν ένα α-σωματίδιο 7.7 MeV προσκρούσει σε ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου και οπισθοσκεδαστεί, τι πληροφορίες παίρνουμε για το μέγεθος του πυρήνα αλουμινίου;

Όταν εμφανίζεται οπισθοσκέδαση τότε το ίδιο αυτό γεγονός είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτο! Φέρνει στο νου δήλωση του Rutherford «Ήταν το πιο απίστευτο γεγονός που μου συνέβη ποτέ στη ζωή μου. Ήταν σχεδόν απίστευτο, σαν να είχατε πυροβολήσει με ένα βλήμα 15-ιντσών ένα κομμάτι χαρτί και αυτό ήρθε πίσω και σας χτύπησε.»

Ήταν η σκέδαση σε μεγάλη γωνία των σωματιδίων άλφα από αλουμίνιο όπου ο Rutherford για πρώτη φορά ήταν σε θέση να παρουσιάσει μια διαφοροποίηση από τη σκέδαση Coulomb. Το σημείο της διαφοροποίησης, που ανακαλύφθηκε το 1919, ήταν αρκετά κοντά στους 180°, καθιστώντας τον υπολογισμό της οπισθοσκέδασης για το αλουμίνιο μία λογική οδό για την εκτίμηση των πυρηνικών διαστάσεων.

Πυρηνικές Διαστάσεις



$PE = \frac{ke^2(2)(13)}{r_{\min}}$

$r_{\min} = \frac{ke^2Z_1Z_2}{KE} = \frac{(1.44\text{MeV} \cdot \text{fm})(2)(13)}{7.7\text{MeV}}$

$r_{\min} = 4.86 \text{ fermi} = 4.86 \times 10^{-15} \text{ m}$

Προσδιορίζοντας την απόσταση εγγύτερης προσέγγισης

Ένα σωματίο α θα έχει τη μικρότερη απόσταση r_0 από έναν πυρήνα, όταν πλησιάζει τον πυρήνα μετωπικά με αποτέλεσμα να σκεδαστεί κατά 180° .

Τη στιγμή της εγγύτερης προσέγγισης η αρχική κινητική ενέργεια K των σωματιδίων μετατρέπεται εξολοκλήρου σε ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Ze^2}{r_0}$$

Απόσταση εγγύτερης
προσέγγισης

$$r_0 = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 K}$$

Οι διαστάσεις του πυρήνα αλουμινίου

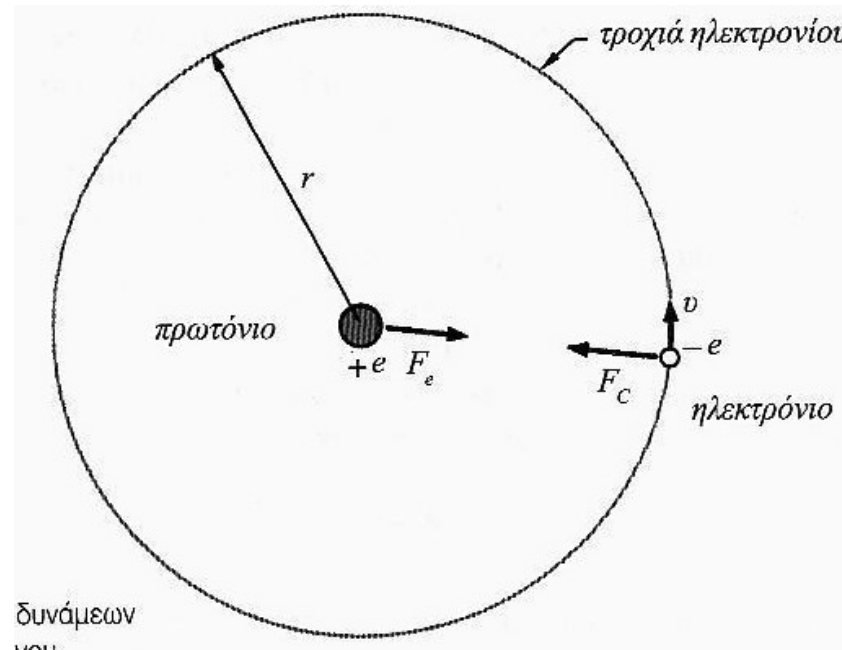
$PE = \frac{ke^2(2)(13)}{r_{\min}}$

$r_{\min} = \frac{ke^2 Z_1 Z_2}{KE} = \frac{(1.44 \text{ MeV} \cdot \text{fm})(2)(13)}{7.7 \text{ MeV}}$

$r_{\min} = 4.86 \text{ fermi} = 4.86 \times 10^{-15} \text{ m}$

Μια εκτίμηση του μεγέθους του πυρήνα αλουμινίου μπορεί να επιτευχθεί αν αντικαταστήσουμε τον ατομικό αριθμό του αλουμινίου ($A = 27$) στην σχέση της πυρηνικής ακτίνας ($r=r_0 A^{1/3}$, $r_0=1.2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1.2 \text{ fm}$). Αυτό δίνει μια πυρηνική ακτίνα του 3,6 fm για το αλουμίνιο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την δεκαετία του πειράματα του Rutherford, το θετικό φορτίο σε ένα άτομο θεωρούνταν 30.000 φορές μεγαλύτερο, τα αποτελέσματα του γίνονται ακόμη πιο εντυπωσιακά.

Τροχιές ηλεκτρονίων



Το μοντέλο Rutherford, δείνει την εικόνα ενός μικρού συμπαγούς θετικά φορτισμένου πυρήνα που περιβάλλεται σε μεγάλη απόσταση από e , ώστε το άτομο να είναι συνολικά ουδέτερο.

Τα e δεν μπορεί να είναι στατικά, διότι δεν υπάρχει αντισταθμιστική δύναμη της ηλεκτρικής δύναμης που τα έλκει προς τον πυρήνα.

Μπορούμε να θεωρήσουμε σταθερές τροχιές;

Κυκλική τροχιά ηλεκτρονίων στο άτομο του υδρογόνου

Υποθέτουμε ηλεκτρονική κυκλική τροχιά.

Η κεντρομόλος δύναμη, F_c , που συγκρατεί το e σε τροχιά r γύρω από τον πυρήνα δίνεται από την ηλεκτρική δύναμη, F_e : $F_c = F_e$ (Η συνθήκη για μια σταθερή τροχιά)

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

Ταχύτητα
ηλεκτρονίου

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}}$$

Η ολική ενέργεια του e θα είναι το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής του ενέργειας

$$E = K + V = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Ολική ενέργεια ατόμου υδρογόνου

Ταχύτητα
ηλεκτρονίου

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r}}$$

$$E = K + V = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$E = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Ολική ενέργεια
ατόμου υδρογόνου

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

Η δύναμη δρα κατά την κατεύθυνση $-r$

Η ολική ενέργεια του e είναι αρνητική.

Αυτό ισχύει για κάθε ατομικό e και αντανακλά το γεγονός ότι είναι **δέσμιο** στον πυρήνα.

Ολική ενέργεια ατόμου υδρογόνου

Άσκηση

Από πειράματα είναι γνωστό ότι για να διαχωρίσουμε το άτομο του υδρογόνου σε ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο απαιτείται ενέργεια 13.6 eV. Δηλαδή η ενέργεια σύνδεσης είναι $E = -13.6$ eV. Προσδιορίστε την τροχιακή ακτίνα και ταχύτητα του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου.

Ολική ενέργεια ατόμου υδρογόνου

Επειδή ισχύει $13.6 \text{ eV} = 2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$, από την εξίσωση (4.14)

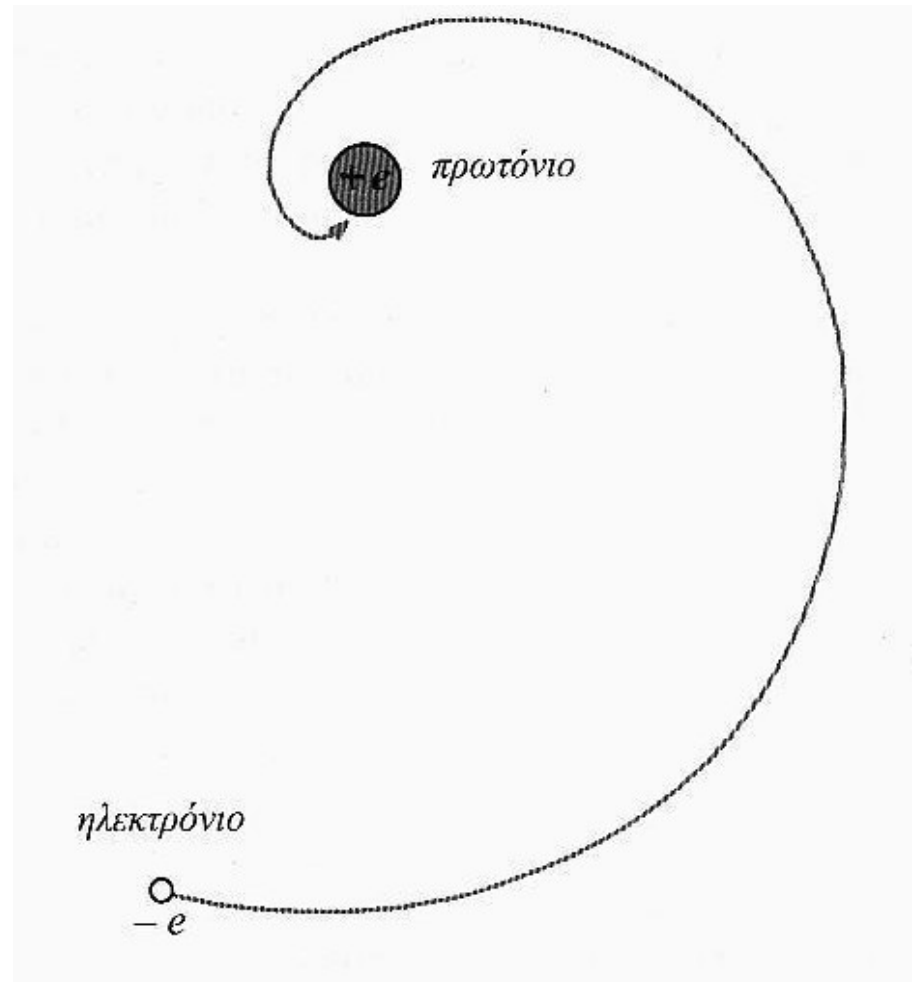
$$\begin{aligned} r &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 E} \\ &= -\frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(8\pi)(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(-2.2 \times 10^{-18} \text{ J})} \\ &= 5.3 \times 10^{-11} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r}} \\ &= \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}{\sqrt{(4\pi)(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})}} \\ &= 2.2 \times 10^6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία δεν επιτρέπει σταθερές τροχιές

Επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία ακτινοβολούν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Ένα ηλεκτρόνιο που ακολουθεί καμπύλη τροχιά επιταχύνεται και γι' αυτό θα πρέπει συνεχώς να χάνει ενέργεια οδηγούμενο με ελικοειδή τροχιά στον πυρήνα.



Γνωρίζουμε όμως ότι τα άτομα δεν καταρρέουν.

Η κλασική φυσική αποτυγχάνει στο άτομο

Η ισχύς της κλασικής φυσικής ελαττώνεται, καθώς οι διαστάσεις των υπό μελέτη φαινομένων ελαττώνονται και πρέπει να λάβει υπόψη της τη σωματιδιακή συμπεριφορά των κυμάτων και την κυματική συμπεριφορά των σωματιδίων.

Το μοντέλο Bohr κατορθώνει να πετύχει μέρος αυτού του σκοπού.

Πλήρης επιτυχής θεωρία η κβαντική μηχανική.

Γνωρίζουμε όμως ότι τα άτομα δεν καταρρέουν.