

30 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1. Ιδιότητες των πυρήνων

Το πρότυπο του Rutherford για το άτομο είναι όμοιο με αυτό του ηλιακού μας συστήματος. Το άτομο είναι **σχεδόν άδειο** στο εσωτερικό του.

➤ Ο πυρήνας

ενός ατόμου μπορεί να θεωρηθεί σαν σχεδόν **σημειακή μάζα**, με όλη σχεδόν τη μάζα του ατόμου.

Είναι η «**καρδιά του ατόμου**», ένας «**ενεργειακός γίγαντας**»

- ♦ Η ακτίνα του ατόμου είναι της τάξης των **10^{-10}m** και
- ♦ η ακτίνα του πυρήνα της τάξης μεγέθους μεταξύ των **10^{-15}m και 10^{-14}m .**

➤ Τα **νουκλεόνια** (πρωτόνια και νετρόνια)

έχουν το **ίδιο μέγεθος** και την **ίδια περίπου μάζα**, αλλά διαφέρουν ως προς το ηλεκτρικό φορτίο.

- ❖ Κινούνται συνεχώς και έχουν κινητική ενέργεια.
- ❖ Εξαιτίας της κίνησης αυτής τα νουκλεόνια έχουν μια τεράστια κινητική ενέργεια η οποία τείνει να τα διασκορπίσει προς τα έξω και επομένως να διαλύσει τον πυρήνα.
- ❖ Επιπλέον τα πρωτόνια στον πυρήνα υφίστανται την αμοιβαία ηλεκτρική άπωση, η οποία τείνει επίσης να τα εκδιώξει από τον πυρήνα.

➤ **Συγκρότηση του πυρήνα :**

Ατομικός αριθμός Z - (Πρωτόνια)

Αριθμός νετρονίων N - (Νετρόνια)

Μαζικός αριθμός A

ισχύει : **$A = Z + N$**

- Πυρήνες που ανήκουν στο ίδιο χημικό στοιχείο και έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων Z αλλά όχι και τον ίδιο αριθμό νετρονίων N ονομάζονται **ισότοποι**.
- ❖ Τα ισότοπα ενός στοιχείου έχουν τον ίδιο αριθμό e (στα ουδέτερα άτομα), άρα και τις **ίδιες χημικές** ιδιότητες, (αφού αυτές καθορίζονται από το πλήθος των ατομικών ηλεκτρονίων).

- ❖ **Ατομική μονάδα μάζας u** ορίζεται ως το 1/12 της μάζας του ατόμου του ${}_6^{12}\text{C}$

(δηλαδή η μάζα του ${}_6^{12}\text{C}$ είναι 12u , του ${}_8^{16}\text{O}$ είναι 16u κλπ)

- ❖ Η **μάζα** οποιουδήποτε σώματος είναι **ισοδύναμη** με κάποια ποσότητα **ενέργειας**.

$$E = m c^2$$

- ❖ Μπορούμε να **μετράμε τη μάζα** ενός σωματιδίου και **σε μονάδες ενέργειας** (συνήθως σε MeV).

- ♦ Η διαφορά των μαζών M_Π ενός πυρήνα από το άθροισμα των μαζών των ελεύθερων νουκλεονίων του ονομάζεται **έλλειμμα μάζας ΔM**

$$\Delta M = (Zm_p + Nm_n) - M_\Pi$$

όπου : $M_\pi = A \cdot u - Zm_e$

ή

$$\Delta M = (Zm_p + Nm_n + Zm_e) - M_{\text{ατόμου}}$$

η πυκνότητα του πυρήνα : $\rho = M_\pi / V$ ($V = 4/3\pi R^3$)

- Η **ισοδύναμη ενέργεια** που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας ονομάζεται **ενέργεια σύνδεσης E_B**

$$E_B = (\Delta M)c^2$$

Αυτή ακριβώς η ενέργεια σύνδεσης **εκφράζει**

την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια που πρέπει να δώσουμε,

για να απομακρύνουμε μεταξύ τους τα πρωτόνια και τα νετρόνια, που

αποτελούν τον πυρήνα, ώστε να μην υπάρχει καμία αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

- ♦ Η **ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο** μετράει τη **σταθερότητα του πυρήνα**. όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο τόσο σταθερότερος είναι ο πυρήνας.

- ❖ Πλατύ **μέγιστο** στην περιοχή, περίπου με **$A = 56$ έως $A = 60$**

- ❖ Πυρήνες με μαζικούς αριθμούς αρκετά μεγάλους ή αρκετά μικρούς δεν έχουν τόση σταθερότητα όσο οι πυρήνες της μεσαίας περιοχής και προτιμούν **να μεταπίπτουν σε πυρήνες μεσαίου μαζικού αριθμού,**

οι πρώτοι με θραύση τους σε μικρότερους πυρήνες (**σχάση**),

ενώ

οι δεύτεροι με συνένωσή τους προς μεγαλύτερους (**σύντηξη**)

αποδεσμεύοντας αντίστοιχα ποσά ενέργειας.

- Σε οποιαδήποτε σχάση ή σύντηξη η **μάζα των πυρήνων που παράγονται** και συνεπώς η **ισοδύναμη ενέργειά τους είναι πάντα μικρότερη** από τη μάζα των αρχικών πυρήνων και την **ισοδύναμη ενέργειά τους**

- ❖ **Για να αντλήσουμε λοιπόν ενέργεια** μέσω πυρηνικών αντιδράσεων, θα πρέπει να μεταβούμε ή από την περιοχή των πολύ μικρών πυρήνων ή από την περιοχή των πολύ μεγάλων πυρήνων προς την περιοχή των μεσαίων πυρήνων.

Ισχυρή πυρηνική δύναμη. (Ισχυρότατα ελκτική)

- Δεν κάνει διάκριση μεταξύ πρωτονίων και νετρονίων.

Είναι δηλαδή η ίδια για τα ζεύγη :

πρωτόνιο-πρωτόνιο,
πρωτόνιο-νετρόνιο
και νετρόνιο-νετρόνιο

- Δρα μόνο μεταξύ γειτονικών νουκλεονίων και μόνο στις πολύ κοντινές αποστάσεις (σε απόσταση μικρότερη από **$2 \cdot 10^{-15} \text{m}$**)

Έτσι η ισχυρή πυρηνική δύναμη, που **δρα μόνο «εξ'επαφής»**, δεν γίνεται εύκολα αισθητή, ούτε και επηρεάζει άμεσα τα μακροσκοπικά φαινόμενα.

- Στο χώρο του πυρήνα όμως : $F_{\text{πυρ}} > F_{\text{ηλ}} \gg F_{\text{βαρυτ.}}$

για τη σύγκριση τους :

$$F_{\text{ηλ}} = k_c \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2} (\text{Coulomb}) \quad \text{και} \quad F_{\text{βαρυτ}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} (\text{Newton})$$

Το πλεόνασμα των νετρονίων συμβάλλει στην ισχυρή πυρηνική σύνδεση, χωρίς να συνοδεύεται από παράλληλη αύξηση της άπωσης Coulomb.

- Η ενέργεια των νουκλεονίων του πυρήνα, είναι **κβαντωμένο** μέγεθος και μπορεί να πάρει μόνο διακριτές τιμές.

Την μικρότερη δυνατή ενέργεια τη λέμε **θεμελιώδη ενεργειακή στάθμη**

Όλες οι υπόλοιπες πάνω από τη θεμελιώδη, καλούνται **διεγερμένες στάθμες**.

- Οι αποστάσεις των ενεργειακών σταθμών στο άτομο του υδρογόνου είναι μερικά **eV**, ενώ στον πυρήνα, είναι μερικά **MeV**.

ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ

ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ένας πυρήνας **μεταπίπτει αυθόρμητα** σε άλλο πυρήνα κι εκλύεται ενέργεια με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας.

- Η διαδικασία κατά την οποία ένας πυρήνας μετατρέπεται σε έναν άλλο διαφορετικού στοιχείου ονομάζεται **μεταστοιχείωση**.

Διάσπαση α

σωμάτιο α (γυμνός από ηλεκτρόνια πυρήνας He, άρα συσσωμάτωμα 2p και 2n)

ένας βαρύς – ασταθής πυρήνας (**μητρικός**) εκπέμπει αυθόρμητα ένα σωμάτιο α και μετατρέπεται σε άλλον (**θυγατρικός**) που είναι σταθερότερος.

- Σε κάθε πυρηνική αντίδραση, ισχύουν οι αρχές :
 1. **διατήρησης του φορτίου** (ο αριθμός των πρωτονίων στο αριστερό μέλος της αντίδρασης είναι ίσος με το άθροισμα τους στο δεξιό μέλος).
 2. **διατήρησης του συνολικού αριθμού των νουκλεονίων**.
- Κατά τη διάσπαση η διαφορά των μαζών εκδηλώνεται ως κινητική ενέργεια του θυγατρικού πυρήνα και του σωματίου α.

Διάσπαση β

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο εκπέμπεται από τον πυρήνα

ένα **ηλεκτρόνιο (διάσπαση β⁻)**

- που δεν σημαίνει ότι προυπήρχε μέσα στο μητρικό πυρήνα.-

όταν ένα νετρόνιο μετατρέπεται σε πρωτόνιο :



ο αριθμός των πρωτονίων Z στο θυγατρικό πυρήνα αυξάνεται κατά 1, ενώ

ο αριθμός των νετρονίων μειώνεται κατά 1,

οπότε

ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων A δεν μεταβάλλεται.

ή

ένα **ποζιτρόνιο (διάσπαση β⁺)**.

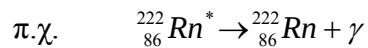


- ✓ Η αλληλεπίδραση που είναι υπεύθυνη για τη μεταλλαγή αυτή είναι η **ασθενής αλληλεπίδραση** μεταξύ των quarks του νετρονίου.
- ✓ Τα σωματίδια β επειδή φέρουν φορτίο, μπορούν εύκολα να ανιχνευτούν.
- ✓ Οι ταχύτητές τους φτάνουν ακόμη και το 99,9% της ταχύτητας του φωτός.
- ✓ Επειδή το αντινετρίνιο αλληλεπιδρά πολύ ασθενικά με την ύλη, η παρατήρησή του είναι εξαιρετικά δύσκολη.
- ✓ Την ύπαρξή του ως άγνωστο σωματίδιο πρότεινε ο Pauli (Πάουλι) το 1930, για να μπορεί να ισχύει η διατήρηση της ενέργειας και της ορμής στη διάσπαση του $^{14}_6\text{C}$

Διάσπαση γ

Συνήθως μετά από μία διάσπαση α ή β ο πυρήνας βρίσκεται σε μια **διεγερμένη ενεργειακή στάθμη**.

Τα φωτόνια που εκπέμπονται κατά τις **αποδιεγέρσεις πυρήνων** ονομάζονται **ακτίνες ή σωματίδια γ** και έχουν πολύ υψηλές ενέργειες σε σχέση με τις ενέργειες των φωτονίων του ορατού φωτός.



Το σύμβολο (*) δηλώνει **διεγερμένη στάθμη**

- ✓ Ας σημειωθεί ότι κατά την εκπομπή της ακτινοβολίας γ δεν αλλάζει ούτε το Z ούτε το A του πυρήνα.
- ❖ Συχνά, όταν ένας ραδιενεργός πυρήνας διασπάται, ο θυγατρικός πυρήνας μπορεί να είναι κι αυτός ασταθής. Τότε συμβαίνει **μια σειρά διαδοχικών διασπάσεων**, μέχρι να καταλήξουμε σε ένα σταθερό πυρήνα.

Διεισδυτική τους ικανότητα :

- Τα σωματίδια α μόλις που διαπερνούν ένα **φύλλο χαρτιού**
- Τα σωματίδια β μπορούν να διαπεράσουν **φύλλα αλουμινίου** πάχους λίγου εκατοστών
- Τα σωματίδια γ μπορούν να διαπεράσουν **αρκετά εκατοστά μολύβδου**.
- ❖ Τα φωτόνια γ στην πορεία τους **είτε χάνουν όλη την ενέργειά τους** με μια αλληλεπίδραση κατά την οποία απορροφώνται, **είτε περνούν ανεπηρέαστα**.
- ✓ Τα σωματίδια α,β και γ **μπορούν να διαχωριστούν** με τη βοήθεια ενός **μαγνητικού πεδίου**, ενώ η ηλεκτρικά ουδέτερη ακτινοβολία γ δεν αποκλίνει καθόλου.

- Ο αριθμός των ραδιενεργών πυρήνων μειώνεται.

Το φαινόμενο όμως αυτό είναι καθαρά **στατιστικό** (δεν μπορούμε να προβλέψουμε πότε θα διασπαστεί κάποιος συγκεκριμένος πυρήνας).

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$$

το λ ονομάζεται **σταθερά της διάσπασης**

- **Ρυθμός διάσπασης**

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

- ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου -

- Η απόλυτη τιμή του ρυθμού μεταβολής του αριθμού των πυρήνων ονομάζεται **ενεργότητα του δείγματος**.

$$\left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| = \lambda \cdot N$$

Μονάδα της το **1 Becquerel** (**1Bq** = 1 διάσπαση/sec)

- **Ο χρόνος υποδιπλασιασμού**
ή ημιζωής ($T_{1/2}$)

είναι ο χρόνος που απαιτείται,
ώστε ο αριθμός των ραδιενεργών πυρήνων
να μειωθεί στο μισό του αρχικού αριθμού N_0

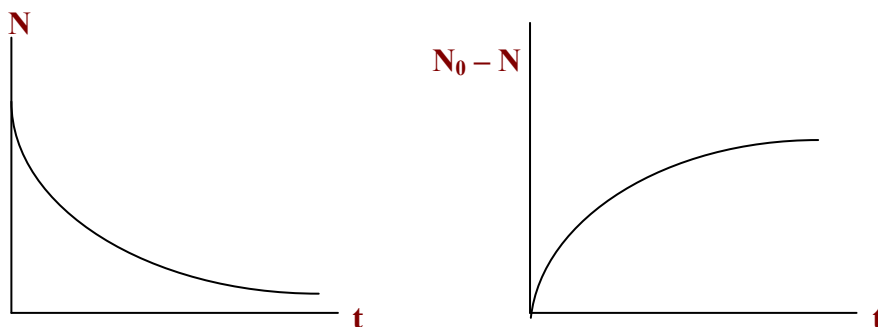
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

- εξίσωση της ραδιενεργού διάσπασης : $N = N_0 e^{-\lambda t}$

όπου N ο αριθμός των πυρήνων που παραμένουν **αδιάσπαστοι**.

- Ο αριθμός των πυρήνων **που έχουν διασπαστεί είναι :**

$$N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

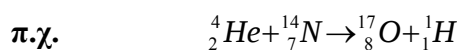


Αν τη χρονική στιγμή $t = 0$, υπήρχαν N_0 ραδιενεργοί πυρήνες

Μετά από χρόνο (t)	πυρήνες που παραμένουν <u>αδιάσπαστοι</u>	πυρήνες που <u>διασπάστηκαν</u>
$T_{1/2}$	$N_0 / 2$	$N_0 / 2$
$2T_{1/2}$	$N_0 / 4$	$3N_0 / 4$
$3T_{1/2}$	$N_0 / 8$	$7 N_0 / 8$

ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

Κατά το βομβαρδισμό πυρήνων-στόχων με κινούμενα σωματίδια, συχνά παρατηρούνται νέοι πυρήνες μετά την κρούση (**πυρηνικές αντιδράσεις**).



- Στις πυρηνικές αντιδράσεις ισχύουν οι

αρχές διατήρησης :

1. του φορτίου

το άθροισμα των ατομικών αριθμών των αντιδρώντων (στο αριστερό μέλος) κάθε πυρηνικής αντίδρασης, ισούται με αυτό των προϊόντων.

2. της ορμής.

η ανάγκη να διασωθεί η ΑΔΟ, οδήγησε στην υπόθεση ύπαρξης του **νετρίνο** (που ανακαλύφθηκε 20 χρόνια αργότερα).

3. της ενέργειας.

που περιλαμβάνει την κινητική ενέργεια , αλλά **και την ενέργεια που αντιστοιχεί στη μάζα ηρεμίας** των αντιδρώντων και των προϊόντων αντίστοιχα.

4. Ένας πρόσθετος νόμος διατήρησης είναι αυτός της

διατήρησης του **συνολικού αριθμού των νουκλεονίων.**

το άθροισμα των μαζικών αριθμών των αντιδρώντων (στο αριστερό μέλος) κάθε πυρηνικής αντίδρασης είναι ίσο με αυτό των προϊόντων.

- Η διαφορά των μαζών ηρεμίας πριν και μετά την αντίδραση προσδιορίζει **την ενέργεια Q της αντίδρασης**

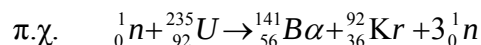
$$Q = (M_A + M_B - M_C - M_D) \cdot c^2$$

- ✓ Όταν το $Q > 0$ η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από αυτή των αντιδρώντων, ενώ η κινητική ενέργεια των προϊόντων είναι μεγαλύτερη (**εξώθερμη**).
- ✓ Όταν το $Q < 0$, η μάζα των προϊόντων είναι μεγαλύτερη και η κινητική τους ενέργεια αντίστοιχα μικρότερη (**ενδόθερμη**).

Πυρηνική σχάση

(απορρόφηση νετρονίων από βαρείς πυρήνες)

- ✓ ένας βαρύς πυρήνας σχάζεται σε δύο μικρότερους πυρήνες.
- ✓ Η ολική μάζα ηρεμίας των προϊόντων είναι μικρότερη από την αρχική μάζα ηρεμίας.



- ✓ Η αντίδραση αυτή είναι **ισχυρά εξώθερμη** και τα **θραύσματα** της σχάσης, καθώς και τα νετρόνια, έχουν μια **υψηλή κινητική ενέργεια** της τάξης των 200MeV.
- ✓ Καθώς ο πυρήνας συλλαμβάνει ένα νετρόνιο, με την πρόσθετη ενέργεια που παίρνει αρχίζει να **ταλαντώνεται βίαια**. Παραμορφώνεται έντονα και έτσι στο μέσον του σχηματίζεται ένα **στένωμα** (λαιμός), που χωρίζει **δύο λοβούς**.

Η ηλεκτρική άπωση μεταξύ των δύο λοβών τους ωθεί σε **αποκόλληση**.

Οι δύο λοβοί **αποχωρίζονται** και αποτελούν τα θραύσματα της σχάσης.

Τα νετρόνια που αποδεσμεύονται κατά τη σχάση ενός πυρήνα μπορούν στη συνέχεια να προκαλέσουν νέα σχάση σε άλλους πυρήνες (**αλυσιδωτή αντίδραση**).

- ✓ Αυτή η **μη ελεγχόμενη σχάση** αποτελεί την αρχή λειτουργίας της πρώτης **πυρηνικής βόμβας**.
- ✓ Σ' έναν **αντιδραστήρα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος** :

επιβραδύνονται τα παραγόμενα νετρόνια,

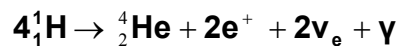
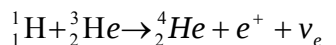
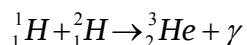
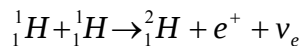
ώστε να διατηρούν μια **αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή** αντίδραση,

η οποία όμως θα προχωρεί **αργά και ελεγχόμενα**, χωρίς να οδηγεί σε έκρηξη.

➤ Πυρηνική σύντηξη

λέγεται η διαδικασία της **συνένωσης** δύο ελαφρών πυρήνων, για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο.

- ✓ Υπάρχει μια **απώλεια μάζας**, η οποία συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της ενέργειας της τελικής κατάστασης.



Αυτή η σειρά των αντιδράσεων λέγεται **κύκλος πρωτονίου-πρωτονίου**.

- ✓ Επομένως ολόκληρος ο κύκλος και των τριών αντιδράσεων ισοδυναμεί τελικά με μια αντίδραση όπου $4 {}^1_1\text{H}$ συντήκονται και δημιουργούν ένα πυρήνα ${}^4_2\text{He}$, ενώ ταυτόχρονα εκπέμπεται ακτινοβολία γ και νετρίνα.
- ✓ Για να συμβεί σύντηξη μεταξύ δύο πυρήνων, πρέπει **να προσεγγίσουν αρκετά** μεταξύ τους ώστε να υπερνικηθεί η ηλεκτρική άπωση και να επικρατήσει η ισχυρή πυρηνική δύναμη.
- ✓ Για να συμβεί αυτό, πρέπει οι πυρήνες να αποκτήσουν πολύ **υψηλή κινητική ενέργεια** (της τάξης των 0,7MeV).
- ✓ Τόσο μεγάλη όμως κινητική ενέργεια μόνο σε **εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία** μπορεί να αποκτηθεί από έναν πυρήνα.
- ✓ Η θερμοκρασία, για να προκληθεί αντίδραση σύντηξης, είναι της τάξης των **10^8K** .
- ✓ Στις θερμοκρασίες αυτές τα άτομα έχουν πια **ιονισθεί τελείως**, δηλαδή **έχουν χάσει όλα τα ηλεκτρόνιά τους** και η ιονισμένη αυτή κατάσταση, όπου έχουμε μόνο ελεύθερα ηλεκτρόνια και πυρήνες, λέγεται **πλάσμα**.

➤ **Θερμοπυρηνικές αντιδράσεις**

χαρακτηρίζονται συχνά οι αντιδράσεις σύντηξης.

Θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας : θα γίνεται ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη.

- ✓ Δυστυχώς τόσο υψηλές θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά **δύσκολο να επιτευχθούν και να συντηρηθούν** για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να έχουμε πρακτικά αξιοποιήσιμη παραγωγή ενέργειας.
- ✓ Το **πυρηνικό καύσιμο** που προτείνεται είναι το **δευτέριο**, που υπάρχει άφθονο και φθινό στο νερό των θαλασσών.
- ✓ **Πλεονέκτημα των αντιδραστήρων σύντηξης** είναι τα λίγα ραδιενεργά κατάλοιπα που αφήνουν.

ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Μετακινήσεις των ατόμων μέσα στο μέταλλο,
αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων του μετάλλου.

- ❖ Στους βιολογικούς οργανισμούς οφείλονται κυρίως στον **ιονισμό**, (σχηματισμός ιόντων - **ιονίζουσες ακτινοβολίες**) σε ουσίες που βρίσκονται μέσα στα κύτταρα.

Ο σχηματισμός μέσα στο κύτταρο δραστικών **ιόντων ή ριζών**, μπορεί να επιφέρει :

αλλαγές στο γενετικό υλικό των κυττάρων (DNA).

και

βλάβες στον πολλαπλασιασμό τους,

άρα

δημιουργία νέων **μεταλλαγμένων κυττάρων – (καρκίνος).**

ή

βλάβες στο γενετικό υλικό των **γενετικών κυττάρων** (τερατογένεση).