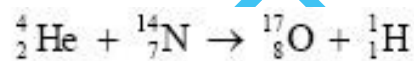


ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

Πυρηνική αντίδραση ονομάζεται η διαδικασία μετατροπής της δομής των πυρήνων των ατόμων ενός στοιχείου κατά το βομβαρδισμό τους με ενεργητικά σωματίδια, που συμβαίνει κυρίως μέσα σε ειδικό χώρο αντιδραστήρα ή που μπορεί να συμβεί και εκτός (πυρηνικά όπλα).

Η αντίδραση αυτή συμβαίνει μεταξύ του πυρήνα (ενός ατόμου) και ενός σωματιδίου - βλήματος που εισέρχεται σ' αυτό από την οποία και προκύπτει μετάπτωση του στοιχείου με διαφορετικό ατομικό πυρήνα (μεταστοιχείωση).

Ο Rutherford το 1919 ήταν ο πρώτος που παρατήρησε πυρηνικές αντιδράσεις κατά το βομβαρδισμό πυρήνων αζώτου με σωματίδια α. Η διαδικασία που συνέβη μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Η γενική μορφή μιας πυρηνικής αντιδράσεως είναι:



όπου α, X τα αντιδρώντα σωματίδια και Y, b τα προϊόντα σωματίδια.

Η **ενέργεια αντίδρασης Q** είναι η ολική ενέργεια που απελευθερώνεται ως αποτέλεσμα της αντίδρασης και ορίζεται ως:

$$Q = \text{ενέργεια αντιδρώντων} - \text{ενέργεια προϊόντων} = (M_a + M_X - M_Y - M_b)c^2$$

- Αν $Q > 0$ τότε η αντίδραση ονομάζεται **εξώθερμη** και η εκλυόμενη ενέργεια παρουσιάζεται υπό μορφή κινητικής ενέργειας των προϊόντων της αντίδρασης.
- Αν $Q < 0$ τότε η αντίδραση ονομάζεται **ενδόθερμη** και για να συμβεί θα πρέπει η κινητική ενέργεια του βομβαρδίζοντος σωματιδίου να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια αντίδρασης Q. Η ελάχιστη ενέργεια που είναι απαραίτητη για να συντελεστεί μια τέτοια αντίδραση ονομάζεται **ενέργεια κατωφλίου**.

Στις πυρηνικές αντιδράσεις ισχύουν οι ακόλουθες αρχές διατήρησης:

- του ατομικού αριθμού Z , δηλαδή του ηλεκτρικού φορτίου

$$Z_{(a)} + Z_{(X)} = Z_{(Y)} + Z_{(b)}$$

- του μαζικού αριθμού A , δηλαδή των νουκλεονίων

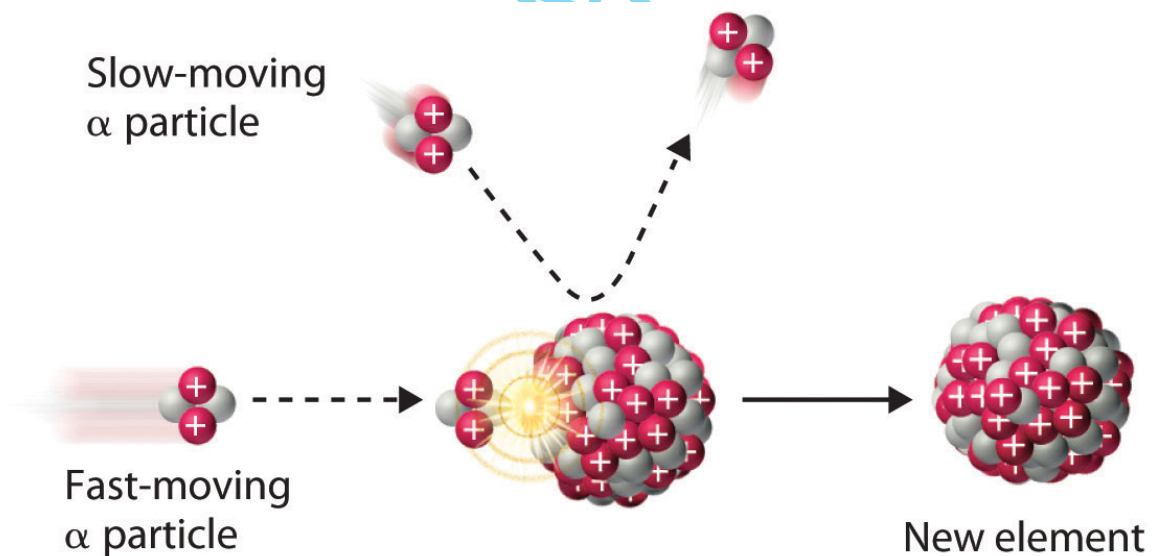
$$A_{(a)} + A_{(X)} = A_{(Y)} + A_{(b)}$$

- της ορμής

$$\vec{p}_{\text{αντιδρώντων}} = \vec{p}_{\text{προϊόντων}} \Rightarrow \vec{p}_a + \vec{p}_X = \vec{p}_Y + \vec{p}_b$$

- της ενέργειας

$$Q = K_{\text{προϊόντων}} = K_{(Y)} + K_{(b)}$$



Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας

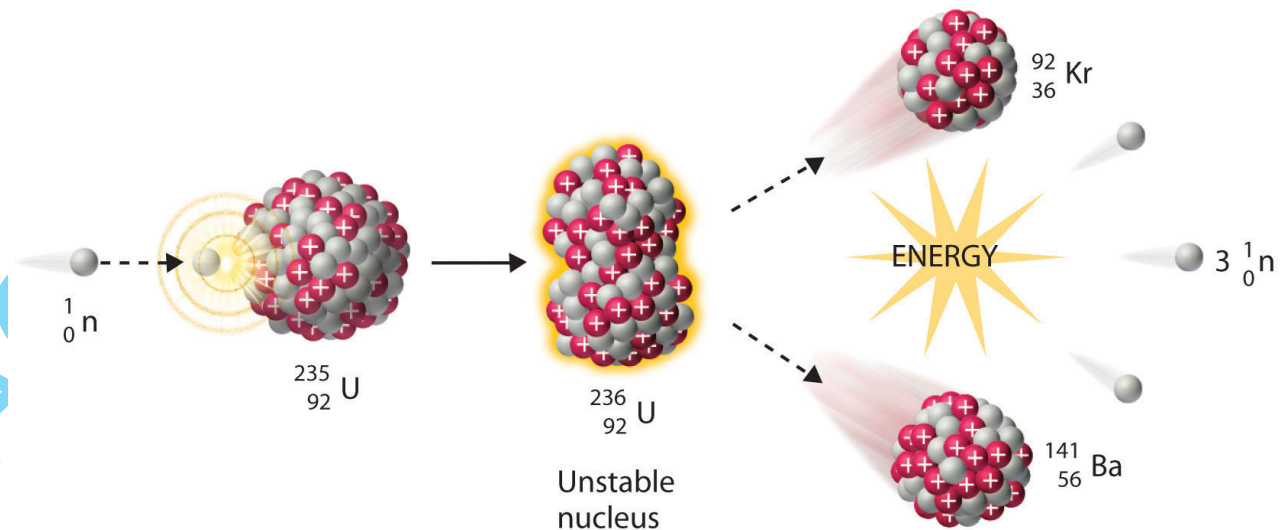
Οι δυο κυριότεροι τύποι πυρηνικών αντιδράσεων είναι η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη.

Πυρηνική σχάση (fission) ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία ένας ασταθής ατομικός πυρήνας βομβαρδιζόμενος χωρίζεται (σχάται) σε δυο ή περισσότερους (μικρότερους) πυρήνες και σε μερικά παραπροϊόντα σωματίδια (όπως νετρόνια). Η σχάση αποτελεί μια περίπτωση μεταστοιχείωσης κατά την οποία παράγονται δύο θραύσματα με συγκρίσιμες μάζες. Στα βαρύτερα στοιχεία η σχάση είναι εξώθερμη αντίδραση αποδίδοντας στο περιβάλλον ενέργεια ως ακτινοβολία γ και ως κινητική ενέργεια των θραυσμάτων.

Η πρώτη πυρηνική σχάση παρατηρήθηκε το 1939 από τους Otto Hahn και Fritz Strassman μετά από βομβαρδισμό ${}_{92}^{235}\text{U}$ με νετρόνια. Υπάρχουν περίπου 90 διαφορετικοί συνδυασμοί των δύο θυγατρικών πυρήνων που αποτελούν τα θραύσματα του πυρήνα ουρανίου. Ένας από αυτούς, που αποτελεί συνηθισμένη διαδικασία σχάσης, είναι και ο εξής:



Η αντίδραση αυτή είναι ισχυρά εξώθερμη και τα θραύσματα της σχάσης, καθώς και τα νετρόνια, έχουν μια υψηλή κινητική ενέργεια της τάξης των 200MeV.



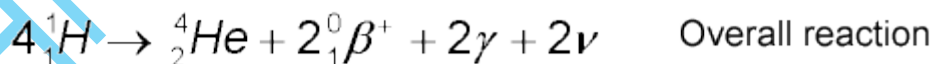
Πυρηνική σύντηξη (fusion) (συν + τήξη) ονομάζεται η πυρηνική διαδικασία κατά την οποία δύο ελαφροί πυρήνες ξεπερνούν τη μεταξύ τους απωστική ηλεκτρική δύναμη και συνενώνονται δημιουργώντας ένα βαρύτερο πυρήνα.

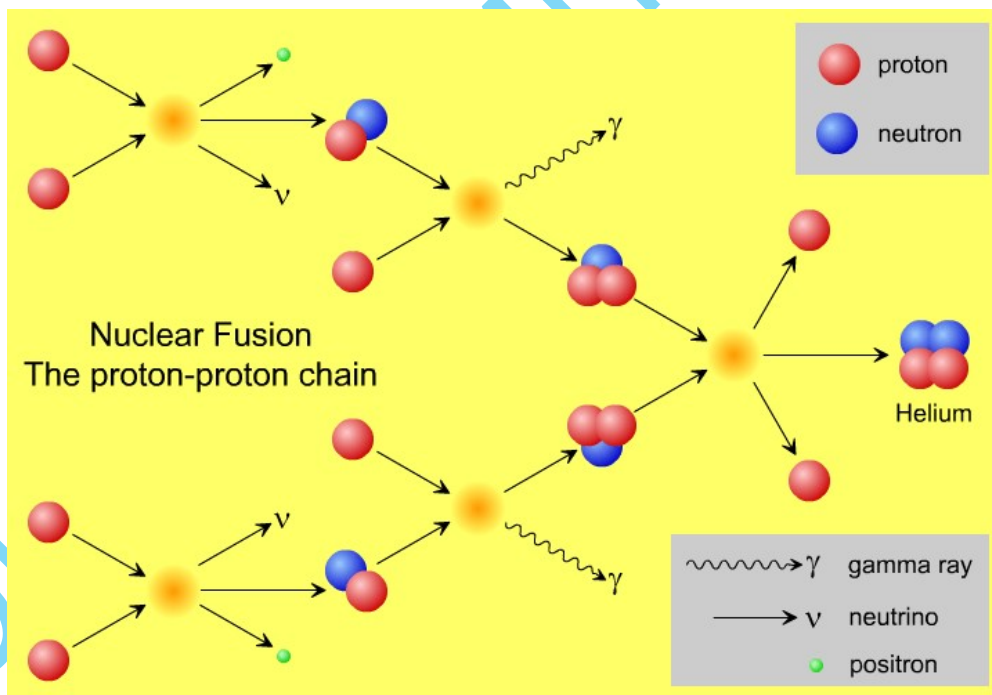
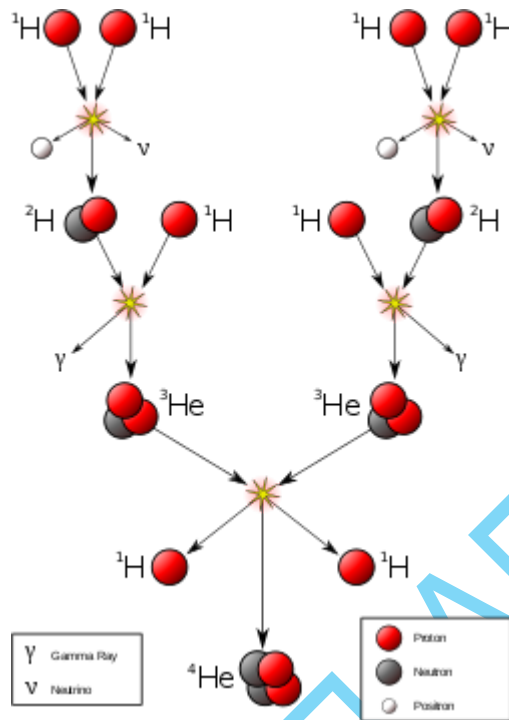
Το φαινόμενο συνοδεύεται από έκλυση μεγάλου ποσού ενέργειας, καθώς η μάζα του τελικού πυρήνα είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των πυρήνων που αντιδρούν. Η ενέργεια αυτή απελευθερώνεται στο περιβάλλον με μορφή κινητικής ενέργειας στα παραπροϊόντα (πχ σωματίδια β ή νετρίνα ηλεκτρονίου) και με τη μορφή ακτινοβολίας γ.

Πυρηνική σύντηξη μπορούν να δημιουργήσουν μόνον ελαφρά στοιχεία, όπως τα ισότοπα του υδρογόνου. Με την θέρμανση αερίου υδρογόνου σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλούνται συγκρούσεις των πυρήνων των ατόμων του υδρογόνου, τόσο ορμητικές και βίαιες που τελικά αυτοί συνενώνονται δημιουργώντας σταδιακά, πυρήνες ενός άλλου στοιχείου (μεταστοιχείωση), του ηλίου, εκλύοντας ταυτόχρονα θερμική ενέργεια.

Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο παράγεται ενέργεια στον Ήλιο και τα άλλα αστέρια. Αν, όπως ελπίζεται, τεθούν στο μέλλον υπό έλεγχο οι αντιδράσεις σύντηξης, η ανθρωπότητα θα αποκτήσει μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Οι πυρηνικές αντιδράσεις που περιγράφουν την εξώθερμη σύντηξη υδρογόνου, αρχικά σε δευτέριο και τελικά σε ήλιο είναι οι ακόλουθες:





Αυτή η σειρά των αντιδράσεων, που λέγεται κύκλος πρωτονίου - πρωτονίου, πιστεύεται ότι συμβαίνει στο εσωτερικό του Ήλιου αλλά και άλλων αστεριών, όπου αφθονεί το υδρογόνο, και από αυτήν προέρχεται η ενέργεια των άστρων.

Παρατηρούμε ότι η ενέργεια του Ήλιου προέρχεται από το «πυρηνικό καύσιμο» υδρογόνο, καθώς αυτό μετατρέπεται βαθμιαία σε ήλιο. Αν υποθεθεί ότι η παραγωγή ενέργειας στον Ήλιο, καθώς και η ακτινοβολία του, θα συνεχιστούν με τους ίδιους ρυθμούς, εκτιμάται ότι ο Ήλιος διαθέτει αρκετά καύσιμα στον πυρήνα του για να διατηρήσει την υπάρχουσα λαμπρότητά του για 5-9 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου.



Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας

EMC²

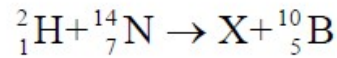
ΣΟΛΩΜΟΥ 29 - ΑΘΗΝΑ

☎ 6932 946778

www.pmoiras.weebly.com

Άσκηση 1

Θεωρείστε την αντίδραση



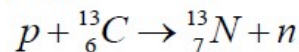
όπου X άγνωστος πυρήνας.

- A) Βρείτε τα Z και A για τον πυρήνα X. Για ποιο στοιχείο πρόκειται;
 B) Βρείτε την ενέργεια της αντίδρασης. Είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη;

(Απ.: A) Li, B) Q= -10,14MeV)

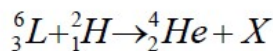
Άσκηση 2

Πυρήνες ${}^{13}_6\text{C}$ βομβαρδίζονται με πρωτόνια ενέργειας 2.0 MeV. Εξετάστε αν η παρακάτω αντίδραση μπορεί να πραγματοποιηθεί



Άσκηση 3

Θεωρείστε την πυρηνική αντίδραση



όπου X άγνωστος πυρήνας.

A) Να βρεθεί το στοιχείο X.

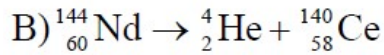
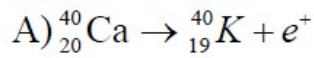
B) Υπολογίστε την ενέργεια αντίδρασης και εξηγήστε αν αντίδραση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη.

Γ) Εκτιμήστε την ενέργεια κατοφλίου της αντίδρασης υπολογίζοντας την ενέργεια Coulomb όταν οι δύο πυρήνες ${}^2_1\text{H}$ και ${}^6_3\text{L}$ βρίσκονται σε επαφή.

Δ) Συγκρίνετε τα αποτελέσματα (B) και (Γ) και σχολιάστε.

Άσκηση 4

Βρείτε ποια από τις παρακάτω δύο αντιδράσεις μπορεί να συμβεί αυθόρμητα



Άσκηση 5

Σε μια αντίδραση πυρηνικής σχάσης ένα νετρόνιο κτυπάει έναν πυρήνα ${}^{235}\text{U}$ ο οποίος διασπάται παράγοντας ${}^{144}\text{Ba}$, ${}^{89}\text{Kr}$ και έναν αριθμό νετρονίων. Οι μάζες των ισοτόπων είναι 235.043930u (${}^{235}\text{U}$), 143.922953u (${}^{144}\text{Ba}$), 88.917630u (${}^{89}\text{Kr}$), και 1.0086649u για το νετρόνιο.

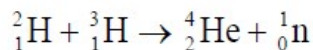
A) Πόσα νετρόνια παράγονται;

B) Υπολογίστε σε MeV την ενέργεια που απελευθερώνεται από κάθε αντίδραση

Άσκηση 6

A) Υπολογίστε την ενέργεια (kWh) που ελευθερώνεται εάν 1 kg από ${}^{239}\text{Pu}$ υποστεί πλήρη σχάση και η ενέργεια που ελευθερώνεται ανά σχάση είναι 200 MeV.

B) Υπολογίστε την ενέργεια (σε MeV) που ελευθερώνεται στη σύντηξη D-T:

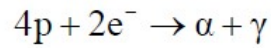


Γ) Υπολογίστε την ενέργεια (σε kWh) που ελευθερώνεται εάν 1 kg δευτερίου υποστεί σύντηξη.

Δ) Υπολογίστε την ενέργεια (σε kWh) που ελευθερώνεται κατά την καύση 1 kg άνθρακα εάν η κάθε αντίδραση $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ αποδίδει 4.2 eV.

Άσκηση 7

Ο Ήλιος ακτινοβολεί ενέργεια με ρυθμό $4.0 \times 10^{23} \text{ kW}$. Αν όλη η ενέργεια που εκλύεται παράγεται από την αντίδραση



υπολογίστε

- A) Τον αριθμό των πρωτονίων που συντήκονται ανά δευτερόλεπτο
- B) Τη μάζα που μετατρέπεται σε ενέργεια ανά δευτερόλεπτο

Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας