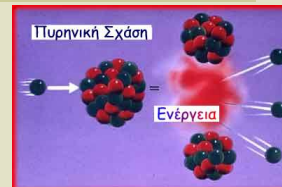




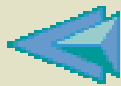
Πυρηνική Τεχνολογία - ΣΕΜΦΕ



Κεφάλαιο 2^ο



Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία



Παρουσίαση 2.1



1

Περιεχόμενα Παρουσίασης 2.1

1. Αρχή Λειτουργίας των ΠΑΙ : Η Σχάση
2. Πυρηνική Ηλεκτροπαραγωγή – ΠΗΣ
3. Πυρηνικά Υλικά και Τύποι ΠΑΙ
4. Σύγχρονοι ΠΑΙ
5. Ο Κύκλος του Πυρηνικού Καυσίμου
6. Διαστασιολόγηση, Παραγωγή Ενέργειας και Λειτουργία ενός ΠΑΙ

Περιεχόμενα Παρουσίασης 2.1

7. Ραδιοπεριβαλλοντικές Επιπτώσεις από τη Λειτουργία των ΠΑΙ
8. Πυρηνικά Ατυχήματα
9. Εξέλιξη των ΠΑΙ
10. ΠΑΙ 4ης Γενιάς



Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία

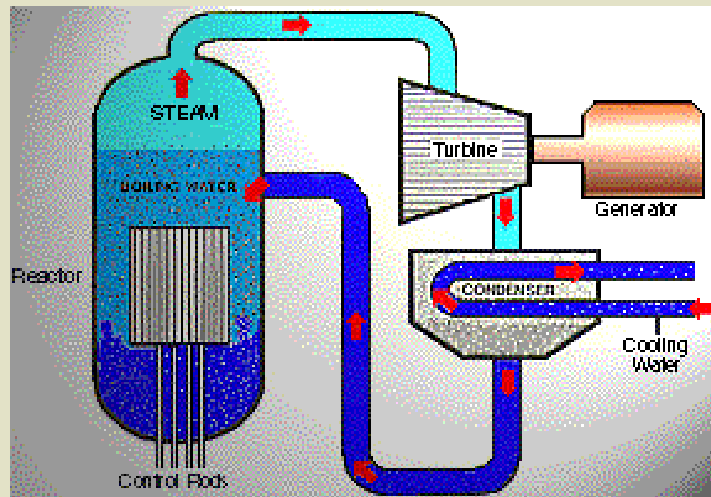


Κεφάλαιο 2^ο



1. Αρχή Λειτουργίας των ΠΑΙ : Η Σχάση

Πυρηνικός Αντιδραστήρας Ισχύος (ΠΑΙ) για Ηλεκτροπαραγωγή



25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

5

Το Νετρόνιο ${}_0^1n^1$

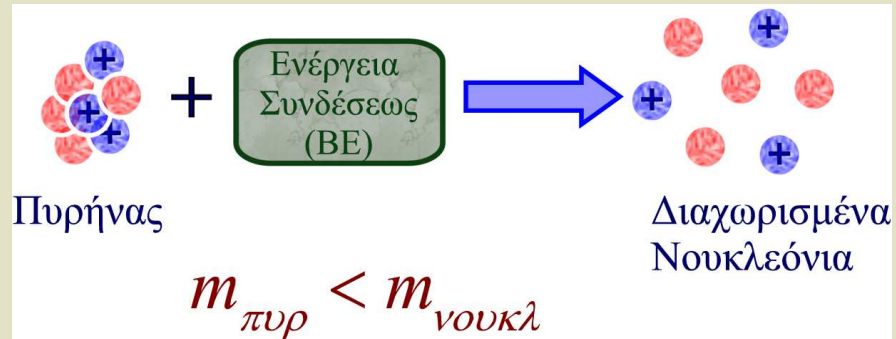
- Σωματίδιο ηλεκτρικά ουδέτερο, το οποίο σε ελεύθερη κατάσταση (έξω από τον πυρήνα) δεν είναι σταθερό, αλλά μετατρέπεται αυτόματα σε ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη εκπομπή ενός αντινετρίνου.
- Η "επιβίωση" ενός ελεύθερου νετρονίου διαρκεί κατά μέσον όρο ~ 15 min.
- Η πιο πάνω "αστάθεια" δεν έχει σημασία στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, όπου η επιβίωση των νετρονίων είναι της τάξης των msec.

25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

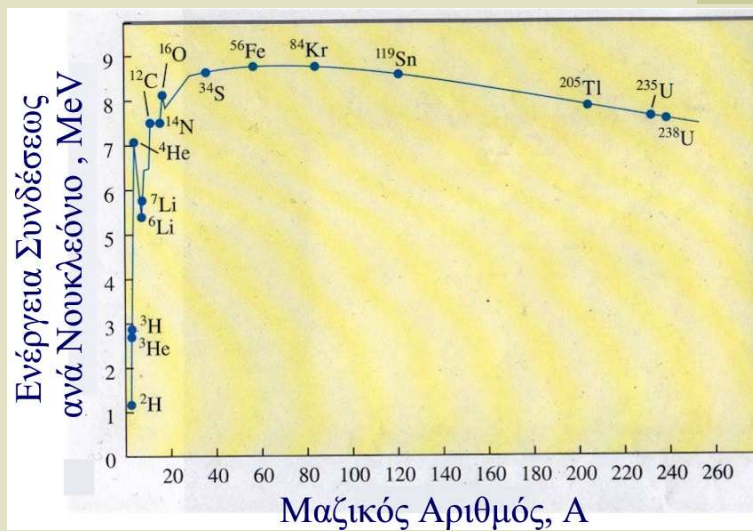
6

Ενέργεια Συνδέσεως – Ελλειμμα Μάζας

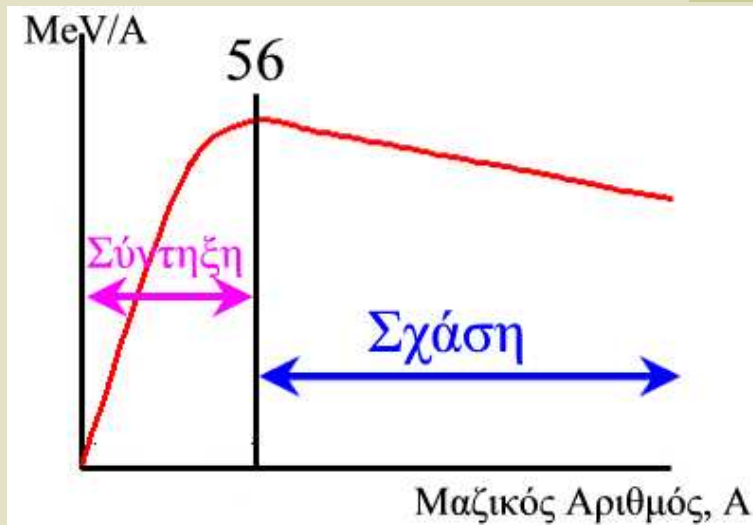


$$BE \text{ (MeV)} = \Delta m \text{ (a.m.u.)}$$

Ενέργεια Συνδέσεως ανά Νουκλεόνιο



Σχάση - Σύντηξη



25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

9

Αυτόματη Σχάση

Η διερεύνηση της μορφής της καμπύλης BE/A οδήγησε στο συμπέρασμα, επειδή ακριβώς η καμπύλη αυτή για $A > 56$ εμφανίζει συνεχή πτώση αυξανόμενου του A , θα πρέπει ο τεμαχισμός ενός πυρήνα $A > 56$ σε δύο ελαφρότερους να συνοδεύεται από έκλυση ενέργειας. Αυτό, θα μπορούσε κανείς να πει γίνεται αυτόματα, ακόμη και αν ο πυρήνας βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση. Όμως :

Η αυτόματη σχάση είναι φαινόμενο ιδιαίτερος σπάνιο. Για το λόγο αυτό για να ξεκινήσει ο μηχανισμός σχάσεως ενός πυρήνα χρειάζεται πρόσδοση εξωτερικά ενέργειας πχ. με ένα νετρόνιο

25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

10

Μηχανισμός της Σχάσης

Νετρόνιο κατάλληλης ενέργειας απορροφάται από σχάσιμο πυρήνα.

Ο πυρήνας παραμορφώνεται και καθίσταται ασταθής.

Αν οι απωστικές δυνάμεις Coulomb υπερσχύσουν των μικρής εμβέλειας συσπειρωτικών πυρηνικών δυνάμεων ο πυρήνας διασπάται σε περίπου 2 ίσα τεμάχια.

Τα θραύσματα απομακρύνονται υπό την επίδραση Coulomb και ίσως τεμαχίζονται. Ταυτόχρονα εκλύονται 2-3 νέα νετρόνια και φυσικά ενέργεια.

25-10-03 ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1 11

Μηχανισμός της Σχάσης

1
Θερμικό Νετρόνιο U-235

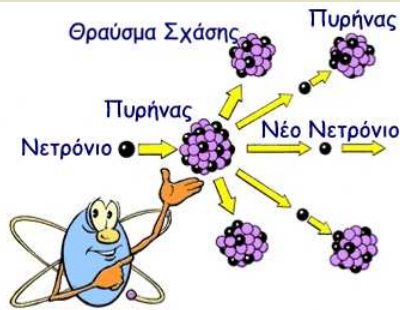
2
U-236

3

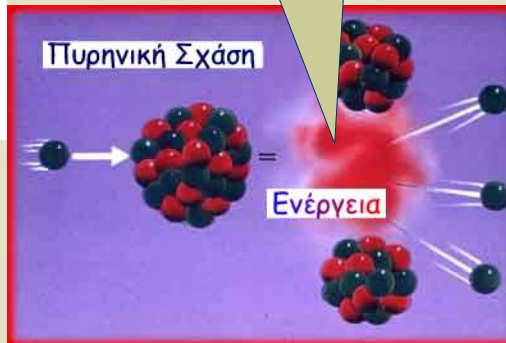
4
Ταχεία Νετρόνια
Θραύσματα Σχάσεως
Ακτινοβολία -γ

25-10-03 ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1 12

Πυρηνική Σχάση



Θερμική ενέργεια
180 MeV ανά σχάση



25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

13

Κατώφλι Σχάσης

- Με την απορρόφηση ενός νετρονίου από τον πυρήνα ${}^m\text{A}$ δημιουργείται ο σύνθετος πυρήνας ${}^{m+1}\text{A}$.
- Για να σχασθεί ο σύνθετος πυρήνας πρέπει να διεγερθεί με ενέργεια ίση προς E_f .
- Αν E_c η κινητική ενέργεια του νετρονίου, ο σύνθετος πυρήνας προκύπτει διεγερμένος με ενέργεια ίση προς $E_\delta = E_c + BE$. Συνεπώς για να σχασθεί πρέπει η κινητική ενέργεια των νετρονίων να είναι $E_c > E_f - BE$.
- Η $E_{\text{κf}} = E_f - BE$ ονομάζεται κατώφλι σχάσης για την κινητική ενέργεια των νετρονίων.

25-10-03

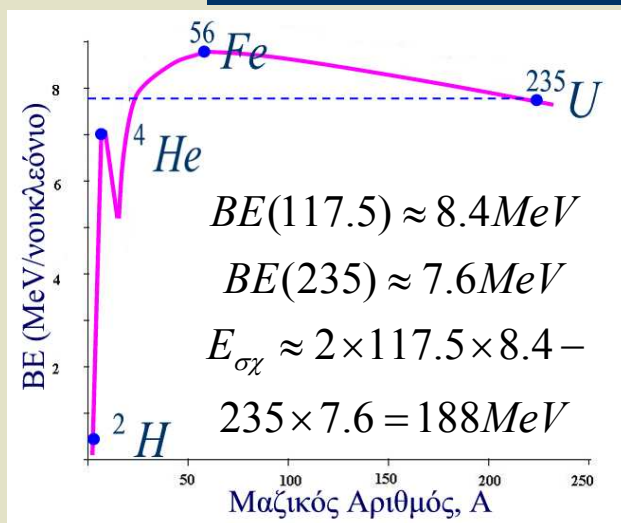
ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

14

Σχάσιμοι Πυρήνες

- Ενδεικτικές τιμές για την $E_{\text{κf}}$ (MeV) ορισμένων πυρήνων – στόχων : $^{232}\text{Th} - 1.3$, $^{234}\text{U} - 0.4$, $^{236}\text{U} - 0.8$, $^{238}\text{U} - 1.2$, $^{237}\text{Np} - 0.4$.
- Υπάρχουν και τρεις πυρήνες οι οποίοι παρουσιάζουν **αρνητικό κατώφλι σχάσης για την ενέργεια των νετρονίων $E_{\text{κf}}$** : ^{233}U , ^{235}U και ^{239}Pu . Οι πυρήνες αυτοί ονομάζονται **σχάσιμοι** διότι μπορεί να σχασθούν από νετρόνια οποιασδήποτε ενεργείας. Οι σχάσιμοι πυρήνες συγκεντρώνουν το κύριο ενδιαφέρον της Πυρηνικής Τεχνολογίας.

Ενέργεια που αποδίδεται κατά τη Σχάση του ^{235}U σε 2 τεμάχια



Απορρόφηση των Νετρονίων από Πυρήνες

Αρα, η απορρόφηση ενός νετρονίου από ένα πυρήνα οδηγεί σε δημιουργία ενός σύνθετου πυρήνα, ο οποίος :

- Είτε σχάται, εφόσον είναι σχάσιμος ή τα νετρόνια έχουν επαρκή κινητική ενέργεια,
- είτε αποδιεγείρεται με την εκπομπή ακτινοβολίας γ ,
- είτε διασπάται σε άλλο πυρήνα, με παράλληλη εκπομπή ακτινοβολίας α ή β και συνήθως και γ .

Πυρήνες - Προϊόντα των Σχάσεων

- Ο τεμαχισμός του σχάσιμου πυρήνα δεν γίνεται πάντοτε με ένα συγκεκριμένο τρόπο, αλλά στατιστικά με διάφορους τρόπους εξαρτώμενους από το είδος του πυρήνα, την ενέργεια των νετρονίων κλπ. Κατά τη σχάση του ^{235}U παρατηρούνται πυρήνες – θραύσματα με μαζικούς αριθμούς 72-158.
- Οι περισσότεροι είναι πυρήνες ασταθείς (με χρόνους ημιζωής από κλάσματα του sec μέχρι δεκαετίες) και διασπώνται κυρίως με β διασπάσεις.
- Τα πλέον ραδιοβιολογικά επικίνδυνα θραύσματα της σχάσης του ^{235}U είναι το ^{131}I & ^{137}Cs .

Αλυσωτή Αντίδραση Σχάσης



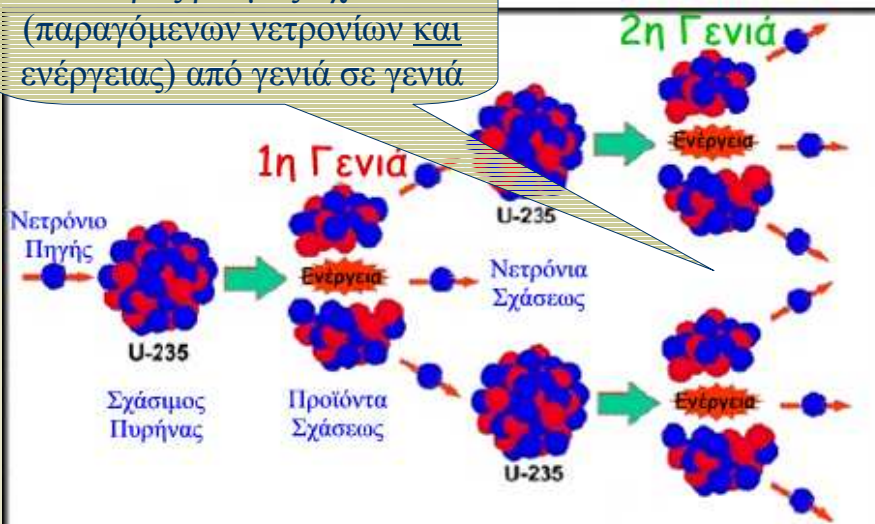
25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

19

Η Εννοια της Κρισιμότητας

Σταθερός ρυθμός σχάσεων
(παραγόμενων νετρονίων και
ενέργειας) από γενιά σε γενιά



25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.1

20

Το Ισοζύγιο των Νετρονίων από Γενιά σε Γενιά



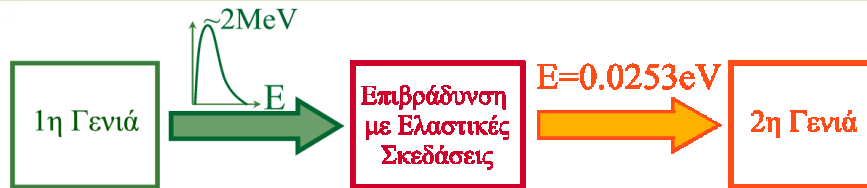
k_{eff} : Συντελεστής πολλαπλασιασμού νετρονίων στο σύστημα

k_{eff} : < 1 σύστημα υποκρίσιμο (σβήνει), $= 1$ σύστημα κρίσιμο (σταθερή παραγωγή ενέργειας), > 1 σύστημα υπερκρίσιμο (εκρήγνυται)

Η Τύχη των Νετρονίων σε Σύστημα

- Κατά την πυρηνική σχάση παράγονται νετρόνια, κατά περίπτωση πυρηνικού καυσίμου 2-3.
- Τα νεο-παραγόμενα νετρόνια "χάνονται", με τις εξής κυρίως οδούς διαφυγής :
 - Απορροφούνται από πυρήνες του συστήματος, σχάσιμους ή όχι. Ποσοστό των υπόψη απορροφήσεων από σχάσιμους πυρήνες οδηγούν σε νέες σχάσεις.
 - Διαφεύγουν από τα γεωμετρικά όρια του συστήματος στον εξωτερικό του χώρο, χωρίς να μπορούν να επιστρέψουν.

Η Ανάγκη για την Επιβράδυνση των Νετρονίων



Η σχάση του διατιθέμενου στο φύση και ευρύτατα χρησιμοποιούμενου ΠΚ, του ^{235}U γίνεται με νετρόνια χαμηλής ενεργείας ($0.0253\text{eV} - 20^\circ\text{C}$). Ομως, κατά τις σχάσεις παράγονται νετρόνια ενεργειακού φάσματος με μέση τιμή ενέργειας τα 2 MeV !

Επιβράδυνση των Νετρονίων με Ελαστικές Σκεδάσεις

- ✓ Οι Ελαστικές σκεδάσεις υπακούουν στους νόμους της Κλασσικής Μηχανικής.
- ✓ Για την επιβράδυνση των νετρονίων με ελαστικές σκεδάσεις απαιτούνται πυρήνες με μικρό μαζικό αριθμό, και κατά το δυνατόν χαμηλότερη πιθανότητα απορρόφησης νετρονίων, προφανώς για να μην χάνονται τα νετρόνια από το σύστημα.
- ✓ Κατάλληλα υλικά κατά αύξουσα σειρά επιβραδυντικής ικανότητας : H_2O , D_2O , C .

Ταχεία και Θερμικά Νετρόνια

- Ταχεία ονομάζονται τα νετρόνια των σχάσεων που έχουν ενέργεια πάνω από 100 keV.
- Θερμικά ονομάζονται τα νετρόνια που έχουν επιβραδυνθεί πλήρως και – όπως λέγεται – βρίσκονται σε *θερμική ισορροπία* με το περιβάλλον, δηλαδή για τη δεδομένη θερμοκρασία **δεν μπορούν να χάσουν** άλλη ενέργεια. Στη θερμοκρασία των 20°C τα θερμικά νετρόνια έχουν ενέργεια $E \sim 0.0253$ eV. Τα θερμικά νετρόνια περιπλανώνται στο σύστημα μέχρι να διαφύγουν από αυτό. Η περιπλάνηση αυτή των νετρονίων ονομάζεται **διάχυση**.

