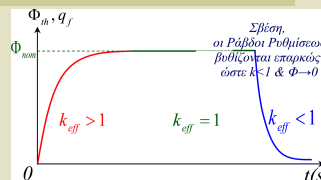




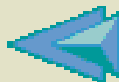
## Πυρηνική Τεχνολογία - ΣΕΜΦΕ



Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>



### Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία



Παρουσίαση 2.10



1

## Περιεχόμενα Παρουσίασης 2.10

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 2.10

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

25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.10

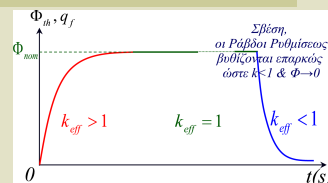
3



## Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία



Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>



### 6. Διαστασιολόγηση, Παραγωγή Ενέργειας και Λειτουργία ενός ΠΑΙ

4

## 6.6 Σκιαγράφηση της Επαναληπτικής Διαδικασίας μέχρι Σύγκλισης

1. Από την ηλεκτρική ισχύ εκτιμάται κατά προσέγγιση ο όγκος του συστήματος, με αφετηρία τις παραδοχές ως προς την πυκνότητα παραγόμενης ισχύος ( $q_f$ ) και το συντελεστή μετάδοσης θερμότητας του τύπου ΠΑΙ που έχει επιλεγεί.
2. Από την  $q_f$  εκτιμώνται οι θερμοκρασίες στο σύστημα, οι ακριβείς διαστάσεις του κρίσιμου – ή ελαφρά υπερκρίσιμου συστήματος – και η ροή θερμικών νετρονίων (νετρονικοί υπολογισμοί).

## Διαστασιολόγηση - 2

3. Με καθορισμένες τις διαστάσεις του κρίσιμου συστήματος υπολογίζονται πλέον ακριβώς τα θερμο-υδραυλικά μεγέθη καθώς και η θερμική ισχύς του συστήματος (θερμοϋδραυλικοί υπολογισμοί).
4. Ο υπολογισμός του θερμοδυναμικού κύκλου πρωτεύοντος και δευτερεύοντος – αν υπάρχει – οδηγούν στην ηλεκτρική ισχύ.
5. Αν η υπολογιζόμενη ηλεκτρική ισχύς δεν ικανο-ποιεί την αρχικά δεδομένη επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί από το βήμα 2 μέχρι συγκλίσεως.

## Νετρονικοί Υπολογισμοί

- Με δεδομένο το είδος του ΠΚ και του επιβραδυντή, από τις κατά προσέγγιση αρχικές διαστάσεις υπολογίζεται η αναλογία μαζών ΠΚ/Επιβραδυντή, και οι διαστάσεις του κρίσιμου συστήματος. Οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται μέχρι σύγκλισης.
- Ακολουθεί ο υπολογισμός της ροής θερμικών νετρονίων από τη γενικευμένη σχέση, στην οποία θα επανέλθουμε :

$$q_f (W / m^3) = \sigma_f \cdot N_{235} \cdot \Phi_{th} \cdot E_{σχ}$$

## Θερμοϋδραυλικοί Υπολογισμοί

- Με δεδομένη τη γεωμετρία και την πυκνότητα της παραγόμενης ισχύος ( $q_p$ ) υπολογίζονται τα θερμοκρασιακά πεδία από το κέντρο της ράβδου του ΠΚ προς τα έξω μέχρι το ψυκτικό.
- Ακολουθεί ο υπολογισμός της ενέργειας (αύξηση της ενθαλπίας) την οποία παραλαμβάνει το ψυκτικό από το κανάλι.
- Εξυπακούεται ότι οι πιο πάνω υπολογισμοί γίνονται για το σύνολο των ράβδων ΠΚ του ΠΑΙ, μπορεί να είναι μερικές χιλιάδες, λαμβανομένης υπόψιν της χωρικής μεταβολής των εμπλεκόμενων μεγεθών.

## Λειτουργία

### 6.7 Η Σημασία της Ροής Θερμικών Νετρονίων ως προς την Ευστάθεια του Συστήματος

## Η Ροή Θερμικών Νευτρονίων

*Θυμίζουμε ...*

- Είναι ένα λογιστικό μέγεθος με μεγάλη φυσική σημασία, δοθέντος ότι διασυνδέει τα νευτρονικά με τα ενεργειακά μεγέθη :

$$\Phi_{th} (n / cm^2 s) = n (n / cm^3) \cdot v (cm / s)$$

$$q_f (W / m^3) = RR_f \cdot E_{σχ} \quad E_{σχ} \cong 180 MeV$$

$$Ρυθμός Σχάσεων (m^{-3} s^{-1})$$

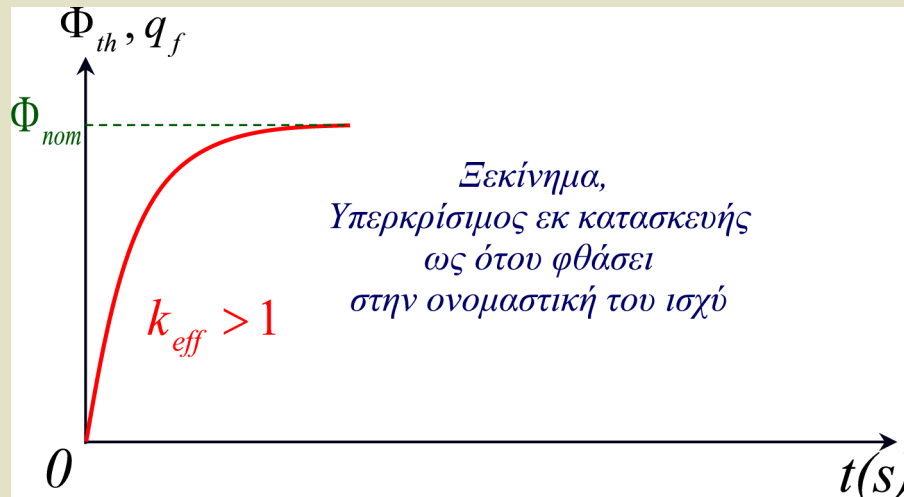
$$RR_f (m^{-3} s^{-1}) = \sigma_f \cdot N_{235} \cdot \Phi_{th} = \sigma_f \cdot N_{235} \cdot (n \cdot v)$$

## Η Ροή Θερμικών Νευτρονίων

*Θυμίζουμε ...*

- Αναφέρεται σε νευτρόνια που εκλύονται πλήρως και θεωρείται ότι βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον.
- Όπως φαίνεται, μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα με την παραγόμενη στο σύστημα ισχύ, άρα από τη μεταβολή της με το χρόνο εξαρτάται η ενεργειακή (θερμική) ευστάθεια του συστήματος.
- Η μεταβολή του πληθυσμού των νευτρονίων – πυκνότητα νευτρονίων ( $n$ ) και συνεπώς  $\Phi_{th}$  – εξαρτώνται από τη σταθερά κρισιμότητας  $k_{eff}$  του συστήματος.

## Η Μεταβολή της Κατάστασης Κρισιμότητας ενός ΠΑΙ

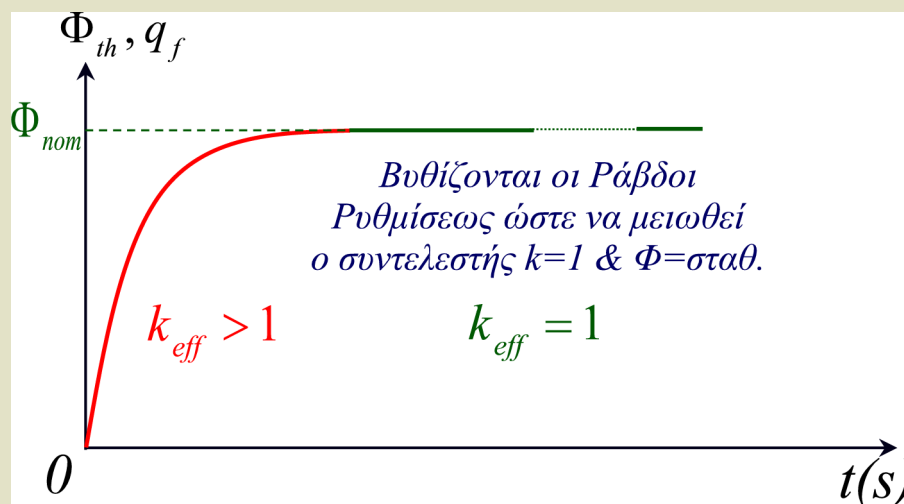


25-10-03

ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.10

13

## Η Μεταβολή της Κατάστασης Κρισιμότητας ενός ΠΑΙ ( $k=1$ )

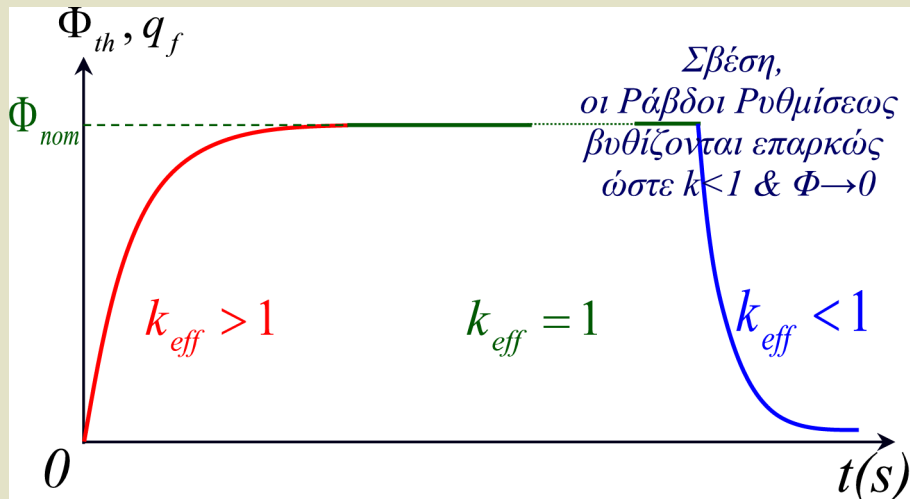


25-10-03

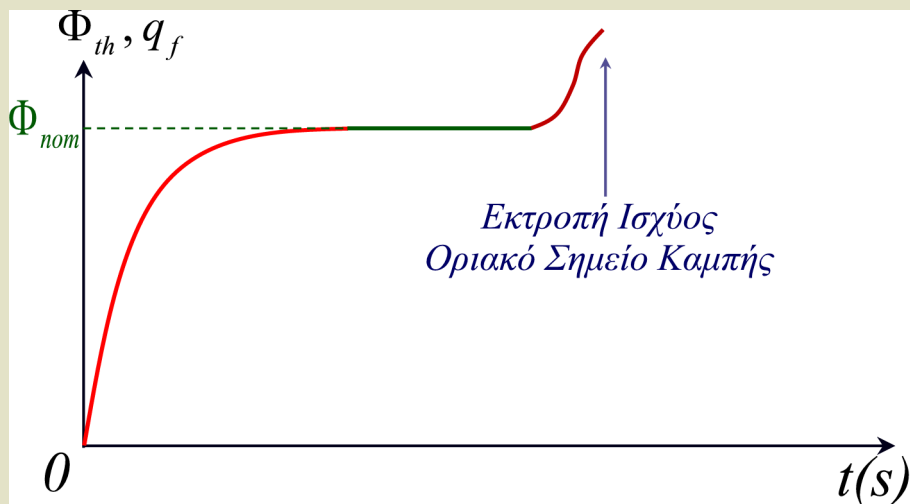
ΠΤ-ΣΕΜΦΕ-Εισαγωγή στην ΠΤ-2.10

14

## Η Μεταβολή της Κατάστασης Κρισιμότητας ενός ΠΑΙ ( $k < 1$ )



## Μεταβατικό που μπορεί να οδηγήσει σε Ατύχημα





## 6.8 Κινητική Αντιδραστήρων Θερμικών Νετρονίων

Οι συνέπειες από τη λειτουργία των ΠΑΙ θερμικών νετρονίων στην κατάσταση της κρισιμότητά τους.

## Ο Ορισμός της Αντιδραστικότητα

Ορίζουμε ως **αντιδραστικότητα** ενός συστήματος την ανηγμένη διαφορά :

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

Όπως φαίνεται, η αντιδραστικότητα είναι μέγεθος που λαμβάνει θετικές ή αρνητικές τιμές.

## Πυρηνικά Δηλητήρια

Κατά τις σχάσεις παράγονται προϊόντα – πυρήνες, όπως  $^{135}\text{Xe}$  &  $^{149}\text{Sm}$ , που απορροφούν έντονα τα θερμικά νετρόνια στερώντας τα από τη δυνατότητα να προκαλέσουν νέες σχάσεις. Αποτέλεσμα η συνεχής μείωση του συντελεστή χρησιμοποίησης θερμικών νετρονίων :

$$f = \frac{RR_{a,ΠΚ}}{RR_{a,ολικές}}$$

Όπου ...

## Πυρηνικά Δηλητήρια

$$f = \frac{RR_{a,ΠΚ}}{RR_{a,ολ}}$$

Όπου :

$RR_{a,ΠΚ}$  οι απορροφήσεις θερμικών νετρονίων από πυρήνες του Πυρηνικού Καυσίμου.

$RR_{a,ολ}$  οι απορροφήσεις θερμικών νετρονίων από το σύνολο των πυρήνων του συστήματος, δηλ. ΠΚ, Επιβραδυντή, Ψυκτικό Μέσο, Στοιχεία της Κατασκευής (κυρίως κράματα Fe) και Πυρηνικά Δηλητήρια.

## Μεταβολή του Συντελεστή $f$ κατά τη Λειτουργία του ΠΑΙ

Συνεπώς, από αυτή καθ'εαυτή τη λειτουργία του ΠΑΙ, πέραν της μικρής κατανάλωσης πυρήνων ΠΚ (μείωση του αριθμητή του  $f$ ) έχουμε – παράλληλα – παραγωγή πυρηνικών δηλητηρίων (αύξηση του παρονομαστή του  $f$ ), δηλαδή μείωση του  $k_{eff}$  με το χρόνο, δηλαδή την εισαγωγή αρνητικής αντιδραστικότητας στο σύστημα.

Αυτό σημαίνει ότι με το χρόνο ο ΠΑΙ δεν μπορεί να είναι κρίσιμος στην ονομαστική του ισχύ αλλά συνεχώς και σε μικρότερη ισχύ.

## Αντιστάθμιση της Αρνητικής Αντιδραστικότητας

Κάθε ΠΑΙ σχεδιάζεται υπερκρίσιμος (με περίσσεια αντιδραστικότητας) ώστε : (α) να επιτυγχάνεται η εκκίνησή του και (β) να συντηρείται η λειτουργία του στην ονομαστική ισχύ, εξαιτίας της αρνητικής αντιδραστικότητας την οποία εισάγουν τα Πυρηνικά Δηλητήρια. Και στις δύο περιπτώσεις, η αντιστάθμιση ώστε να έχουμε κρίσιμο σύστημα επιτυγχάνεται με τις ράβδους ρυθμίσεως, οι οποίες κατασκευάζονται από υλικά που απορροφούν έντονα τα νετρόνια και βυθίζονται σε κατάλληλο βάθος στο σύστημα.

## Αντικατάσταση του ΠΚ

Βεβαίως, ενδέχεται με το χρόνο, η εισαγωγή μεγάλης αρνητικής αντιδραστικότητας να μην επιτρέπει πλέον τη λειτουργία κρίσιμου συστήματος με την επιθυμητή ονομαστική ισχύ λειτουργίας. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται αντικατάσταση τμήματος του ΠΚ που έχει εξαντληθεί/δηλητηριασθεί. Η διαδικασία αυτή συνεπάγεται τη διακοπή λειτουργίας του ΠΑΙ, με εξαίρεση τον ΠΑΙ τύπου CANDU. Στους ΠΑΙ ταχείων νετρονίων 4<sup>ης</sup> γενιάς εισάγεται η φιλοσοφία του *"once-through fuel cycle"* κατά την οποία το ΠΚ δεν αντικαθίσταται κατά τη διάρκεια ζωής του ΠΑΙ.

## Κινητική Αντιδραστήρων

Το θέμα ξεφεύγει από τα όρια του  
Μαθήματος

