

Παραγωγή Πυρηνικής Ενέργειας- Πυρηνικοί Αντιδραστήρες

Νικολέτα Βόντα
Τμήμα Χημείας
Ε.Κ.Π.Α.

Ιστορική αναδρομή

- **1932:** James Chadwick-ανακάλυψη νετρονίου
- **1933:** Ζεύγος Curie – ανακάλυψη τεχνητής ραδιενέργειας βομβαρδίζοντας υλικά με σωματία α
- **1934:** Enrico Fermi και η ομάδα του: ‘βομβαρδισμός’ ουρανίου με νετρόνια
- **1938:** Otto Hahn, Frisch Strassman, Lise Meitner: ανακάλυψη του στοιχείου βαρίου σαν προϊόν του βομβαρδισμού του ουρανίου με νετρόνιο
- **1939:** Lise Meitner και Frisch Otto θεωρητική εξήγηση της σχάσης

- **1942:** Έναρξη του σχεδίου Manhattan από τα πανεπιστημιακά εργαστήρια των Columbia, Berkeley και Chicago (Oppenheimer, Bohr, Chadwick, Fermi).
- **1942**(2 Δεκεμβρίου): Πρώτη ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση και λειτουργία του πρώτου πυρηνικού αντιδραστήρα Chicago Pile-1 από Fermi στο Chicago
- **1945**(16 Ιουλίου): Δημιουργία της πρώτης πυρηνικής βόμβας “Trinity” – έκρηξη στο Alamogordo (Los Alamos)
- **1945**(6 Αυγούστου): Ρίψη πυρηνικής βόμβας ουρανίου (Little boy) στη Χιροσίμα
- **1945**(9 Αυγούστου): Ρίψη πυρηνικής βόμβας πλουτωνίου (Fat man) στο Ναγκασάκι
- **1956:** Σύσταση Διεθνούς Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας

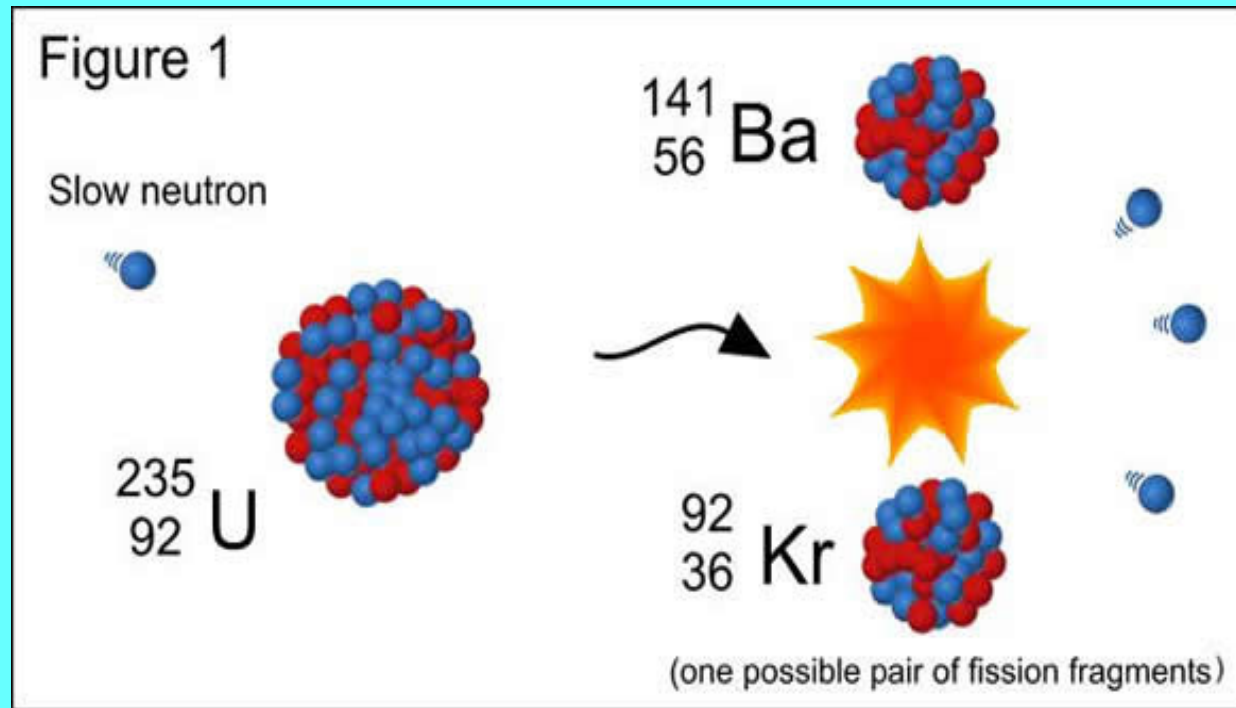
Χρονολόγιο των πιο σοβαρών πυρηνικών ατυχημάτων

- **1986:** Τσερνόμπυλ, έκρηξη στη μονάδα 4
- **1957:** Ατύχημα στο σταθμό επεξεργασίας πυρηνικών αποβλήτων Kysthym (Ρωσία)
- **1957:** Διαρροή ραδιενεργών υλικών στο Windscale (Μ. Βρετανία)
- **1979:** Μερική τήξη του πυρήνα του αντιδραστήρα στον πυρηνικό σταθμό Three-Mile Island (ΗΠΑ)
- **1980:** Ζημιές στις πυρηνικές εγκαταστάσεις στο Saint Laurent (Γαλλία)
- **2011:** Πυρηνικό ατύχημα στη Fukushima I (Ιαπωνία)

Πυρηνική Σχάση

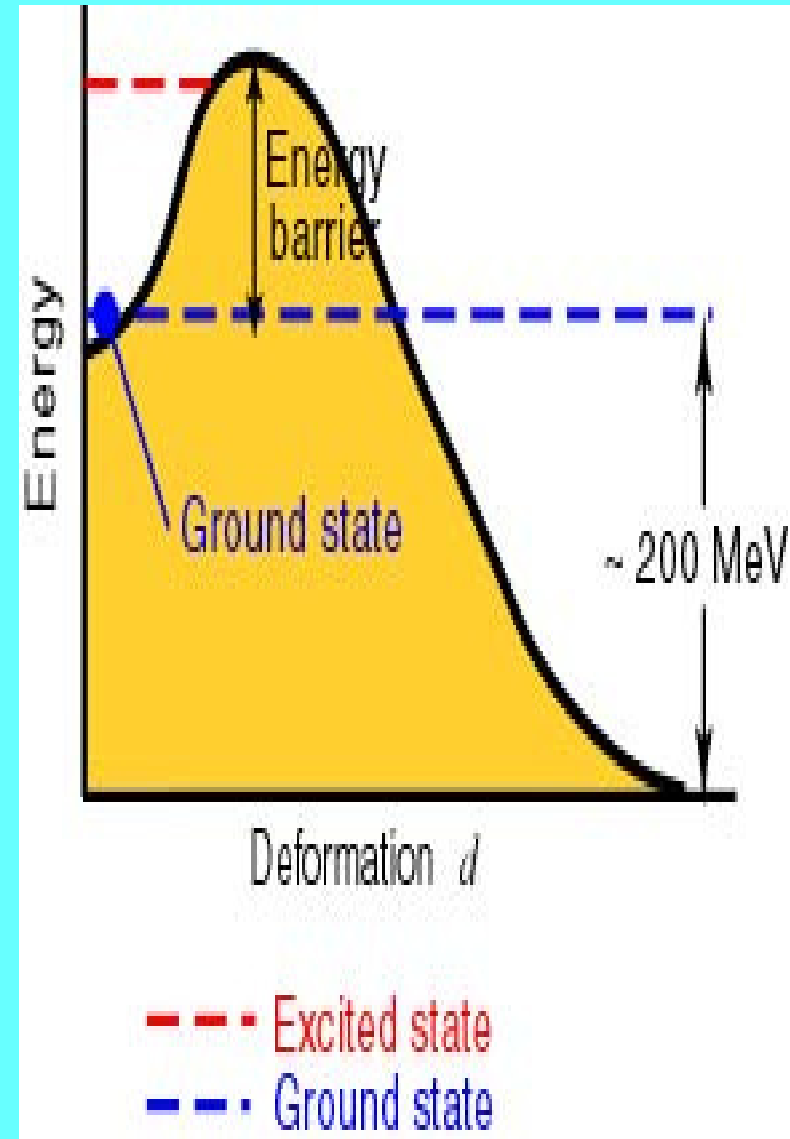
Τι είναι ;

- Πυρηνική αντίδραση στην οποία ο πυρήνας του ατόμου χωρίζεται σε 2 ελαφρύτερους πυρήνες παράγοντας ενέργεια ελεύθερα νετρόνια και γ ακτινοβολία
- **Αυθόρμητη σχάση (Spontaneous fission):** ραδιενεργός αποδιέγερση, πραγματοποιείται χωρίς “βομβαρδισμό” νετρονίου σε βαριά ραδιενεργά ισότοπα
- **Εξαναγκασμένη σχάση (Induced fission):** αποτέλεσμα της πυρηνικής διέγερσης όταν ένας σχάσιμος πυρήνας δεσμεύει 1 νετρόνιο



Μηχανισμός σχάσης

- Σταδιακή παραμόρφωση πυρήνα
- Για μικρές παραμορφώσεις η ενέργεια αυξάνεται καθώς αυξάνεται η επιφάνεια
- Όταν ο πυρήνας αρχίζει να χωρίζεται στα 2, η ενέργεια χαμηλώνει καθώς αυξάνεται ο διαχωρισμός λόγω του δυναμικού Coulomb
- Για να γίνει η σχάση πρέπει να υπερνικηθεί ένα ενεργειακό όριο (*Energy barrier*)



Παραγόμενη ενέργεια

– Μια σχάση παράγει 200 Mev

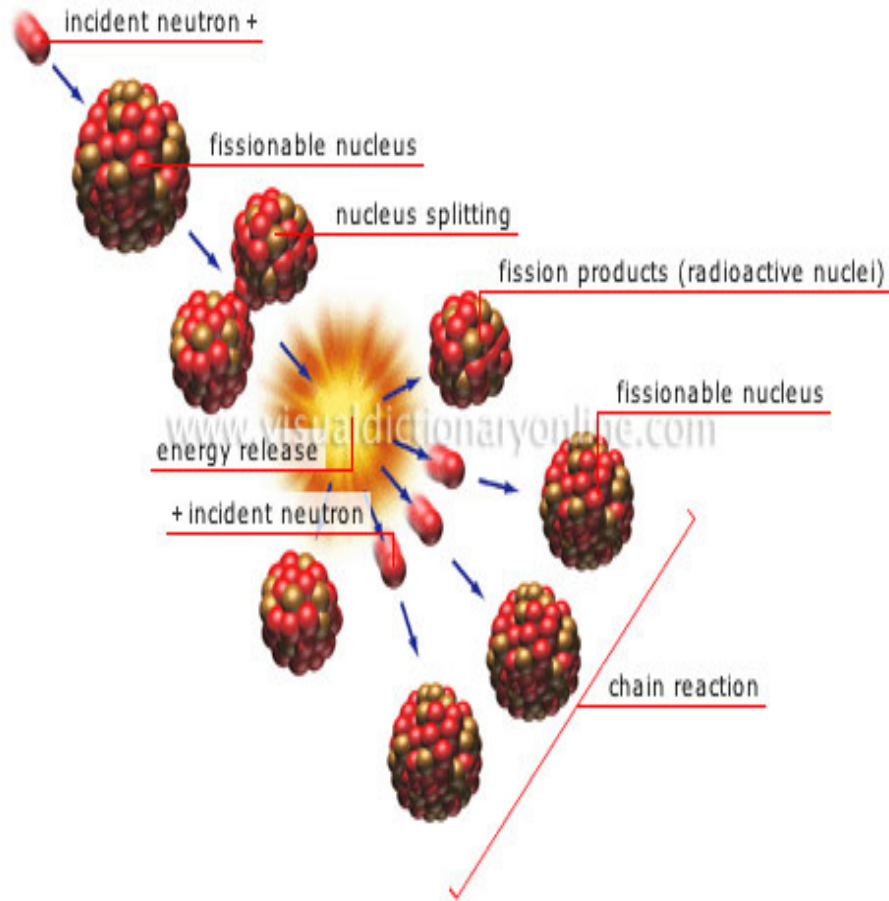
- U-235

169 Mev
(Κινητική
ενέργεια)

6 Mev (εκπομπή
2,5 νετρονίων)

7 Mev (γ
ακτινοβολία)

Αλυσιδωτές αντιδράσεις



- Απορρόφηση θερμικού νετρονίου ($0,025 \text{ eV}$) (*thermal neutron*) από τον πυρήνα
- Δημιουργία 2 θυγατρικών πυρήνων και ελευθέρωση 2-3 νετρονίων με μεγάλη ΚΕ (1 MeV) (*fast neutrons*)
- Τα *fast neutrons* ελαττώνουν την ενέργεια τους μέσω μιας σειράς ελαστικών κρούσεων
- Ο αριθμός νετρονίων πολλαπλασιάζεται από τη μια γενιά στην άλλη όπου τα καινούρια νετρόνια πυροδοτούν νέες σχάσεις κι έτσι δημιουργείται η αλυσιδωτή αντίδραση

Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Τι είναι;

Είναι μια διάταξη που πραγματοποιεί και ελέγχει μια αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Παρασκευή ισοτόπων για ιατρική και βιομηχανική χρήση
- Για ερευνητικούς σκοπούς

Πώς δουλεύουν;

A Μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται από την πυρηνική σχάση (μέσω αλυσιδωτής αντίδρασης) σε ωφέλιμη ηλεκτρική

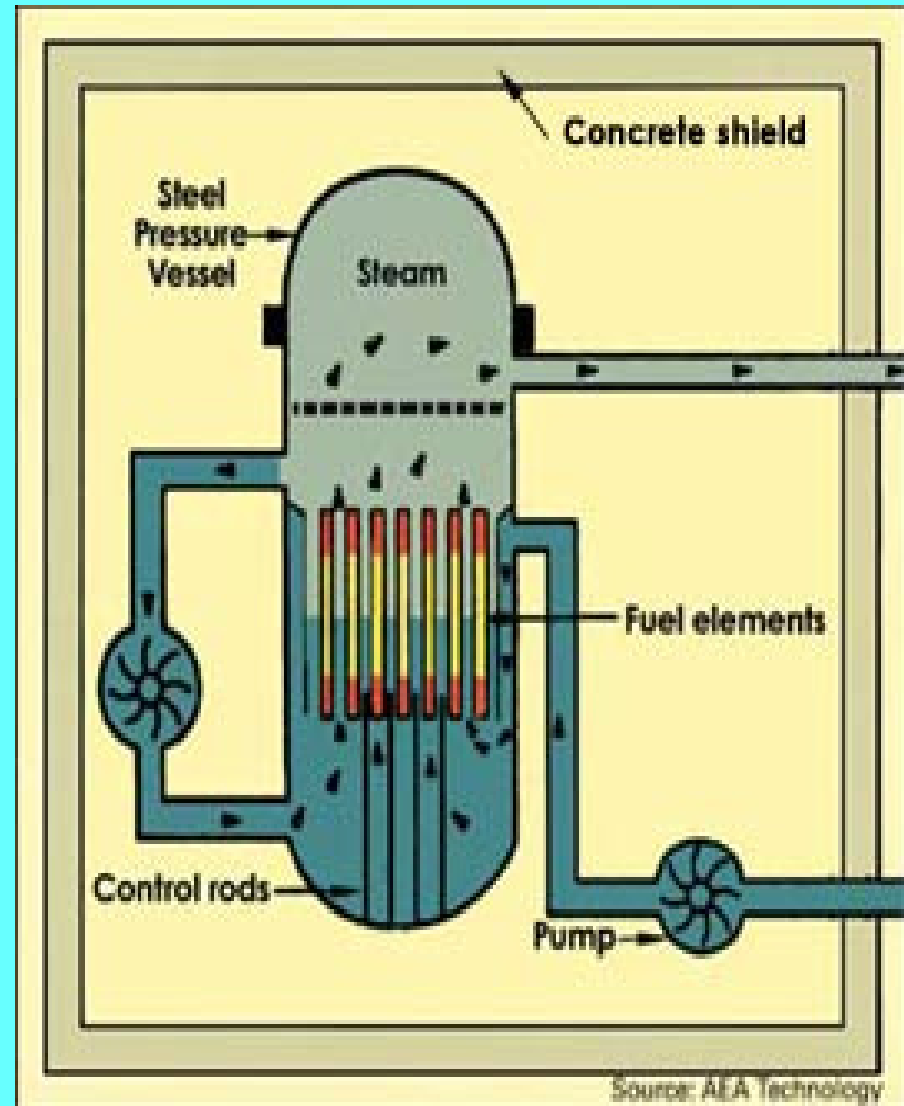
B Παραγωγή θερμότητας: **1)** μετατροπή κινητικής ενέργειας προϊόντων σε θερμική

2) από τη ραδιενεργό διάσπαση των προϊόντων της σχάσης

3) από τη γ ακτινοβολία

Καρδιά πυρηνικού αντιδραστήρα (Fission reactor core)

- 1) **Καύσιμα στοιχεία (fuel elements)**
κύλινδροι καυσίμου (fuel bars)
U εμπλουτισμένο σε U-235 ή Pu-239
- 2) **Επιβραδυντής (moderator)**
θερμοποίηση νετρονίου
βυθίζοντας τις ράβδους καυσίμου σε H_2O
- 3) **Σύστημα εξαγωγής θερμότητας (heat extraction system)**
ψυκτικό μέσο
περιορισμός της θερμοκρασίας ή μεταφορά θερμικής ενέργειας σε ηλ. γεννήτριες



Διαχωρισμός των πυρηνικών αντιδραστήρων

- Πυρηνική σχάση

- 1) **Θερμικοί αντιδραστήρες (thermal reactors):**

θερμικά νετρόνια - επιβραδυντές (moderators)
και U-235, Pu-239, Pu-241 (καύσιμο)

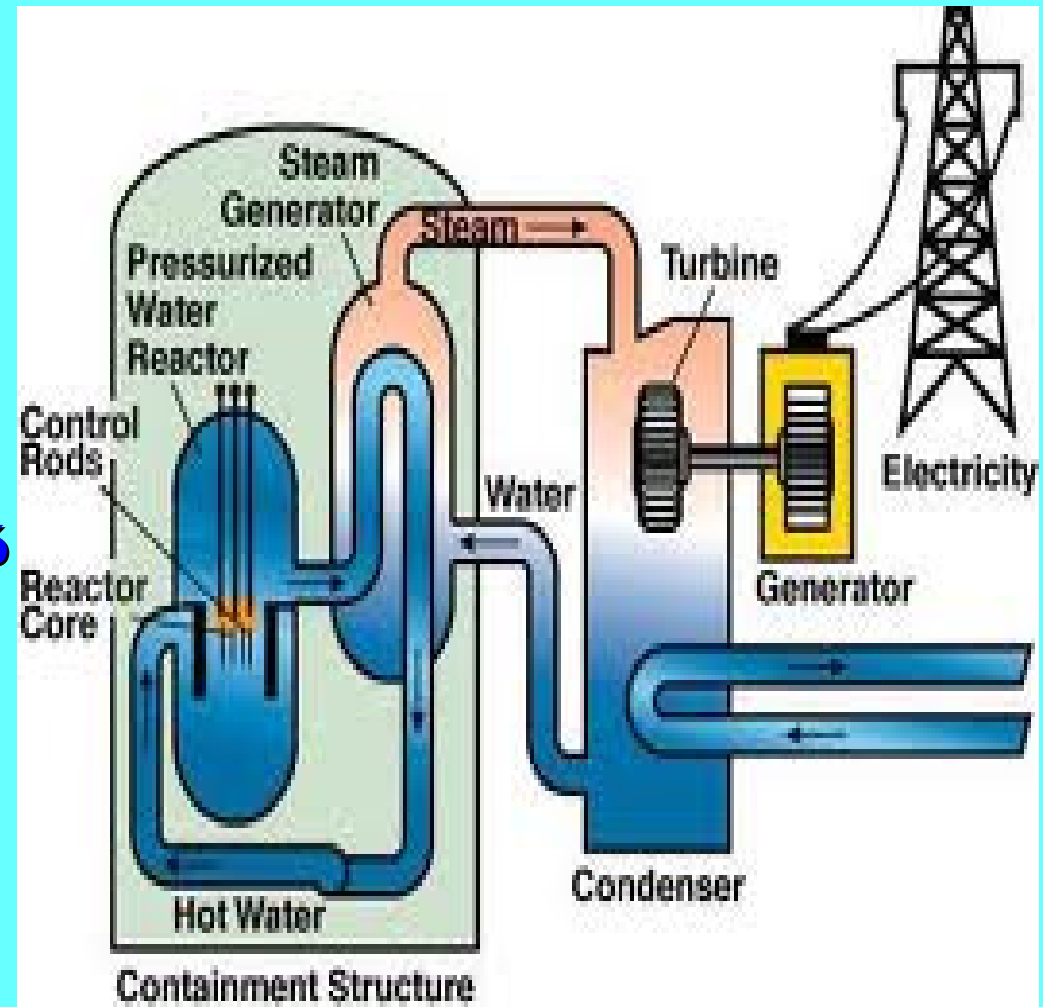
- 2) **Αντιδραστήρες γρήγορων νετρονίων(fast neutron reactors) :**

όχι επιβραδυντής και U-238 (καύσιμο)

- 3) **Αντιδραστήρες που λειτουργούν με βάση επιταχυντές σωματιδίων (reactors driven by particle accelerators)**

Thermal reactors

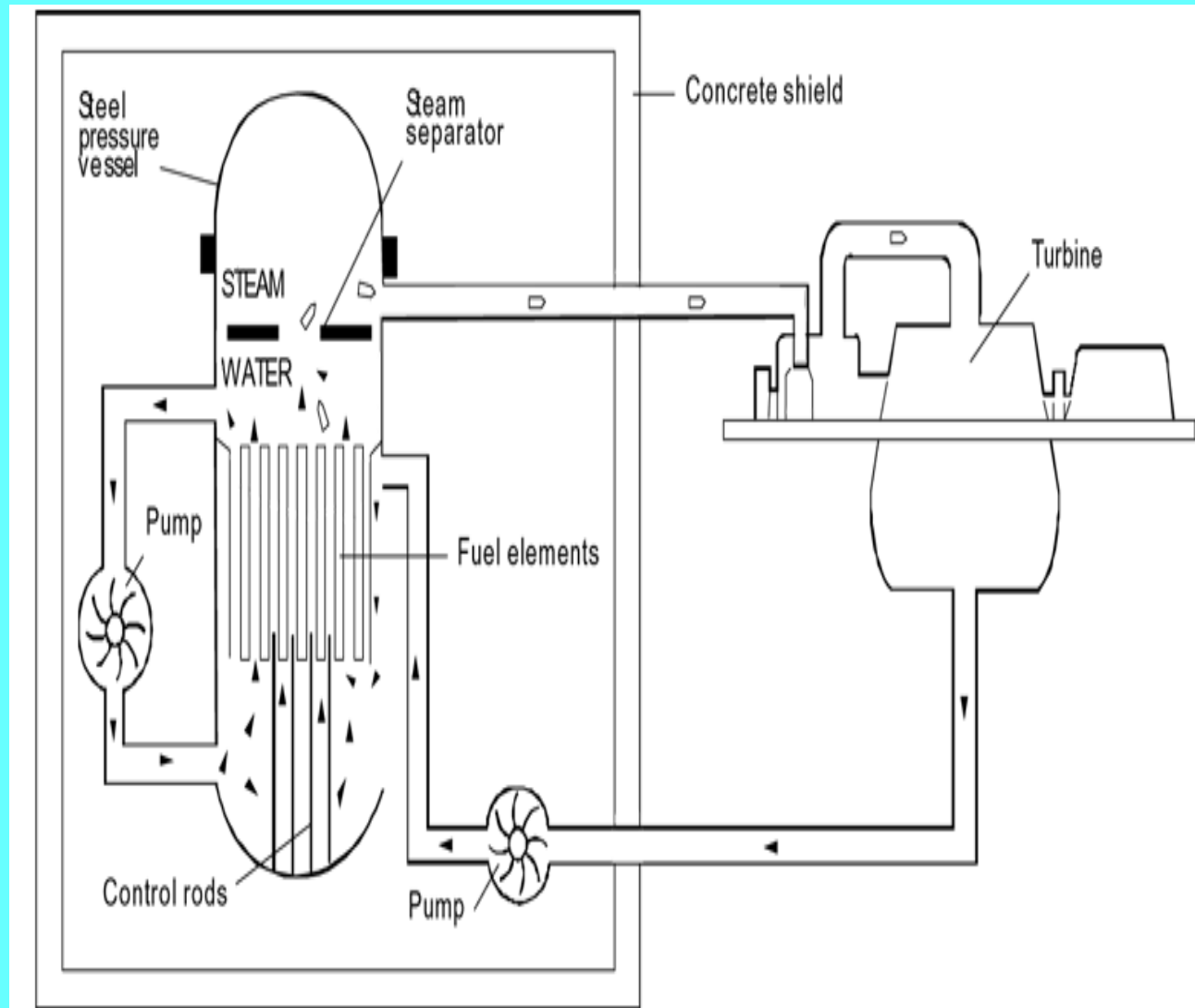
- **Καύσιμο**
UO₂ (3% σε U-235) με περίβλημα κράματος Zr
- **Επιβραδυντής**
Ελαφρύ νερό (κανονικό νερό)
- **Καρδιά-πυρήνας**
Ράβδοι καυσίμου σε συστοιχία
Δοχείο πίεσης περιέχει το νερό
- **Εξαγωγή θερμότητας**
Θέρμανση νερού σε υψηλή πίεση
Άντληση νερού σε ατμογεννήτρια όπου βράζει
Ο ατμός κινεί στρόβιλο



Τρέχουσες τεχνολογίες thermal reactors

Boiling Water Reactor

Σύστημα ψύξης και επιβραδυντής :
νερό σε χαμηλότερη πίεση (σε σχέση με τον PWR)
το νερό βράζει μέσα στο δοχείο πίεσης παράγοντας ατμό που κινητοποιεί τις τουρμπίνες



Τρέχουσες τεχνολογίες thermal reactors

Pressurized Water Reactor

Σύστημα ψύξης και επιβραδυντής:

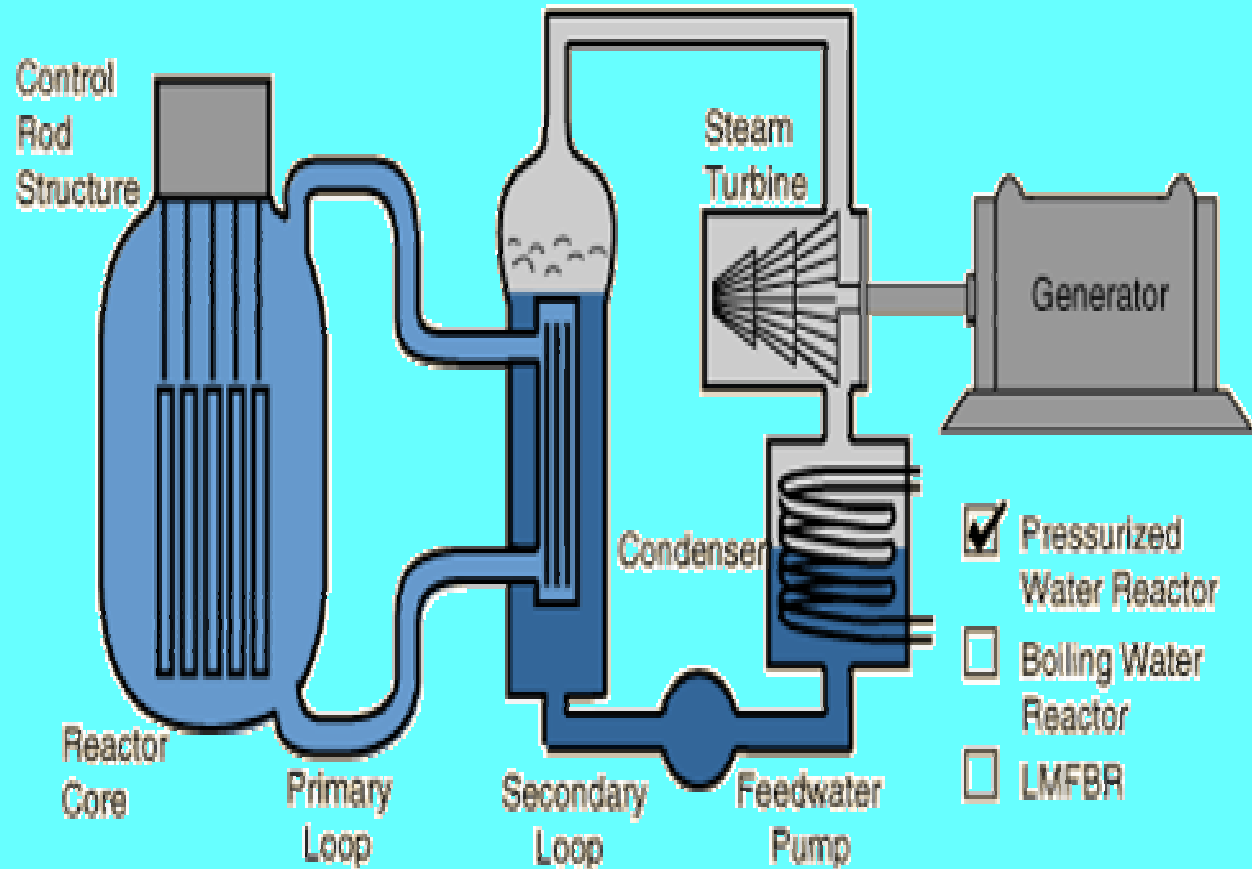
H_2O (300 ° C , 150 atm)

1)A) Νερό τροφοδοτεί 1 εναλλάκτη θερμότητας

B) Δευτερεύον κύκλωμα νερού

Γ) Παραγωγή ατμού που κινεί τις τουρμπίνες

2) Το καύσιμο μπορεί να κρατήσει 3 χρόνια μέχρι να μολυνθεί εντελώς από τα προϊόντα της σχάσης



*Γενικά έχουμε
ικανοποιητική*

Τρέχουσες τεχνολογίες thermal reactors

HWTNR (heavy water thermal neutron reactor)

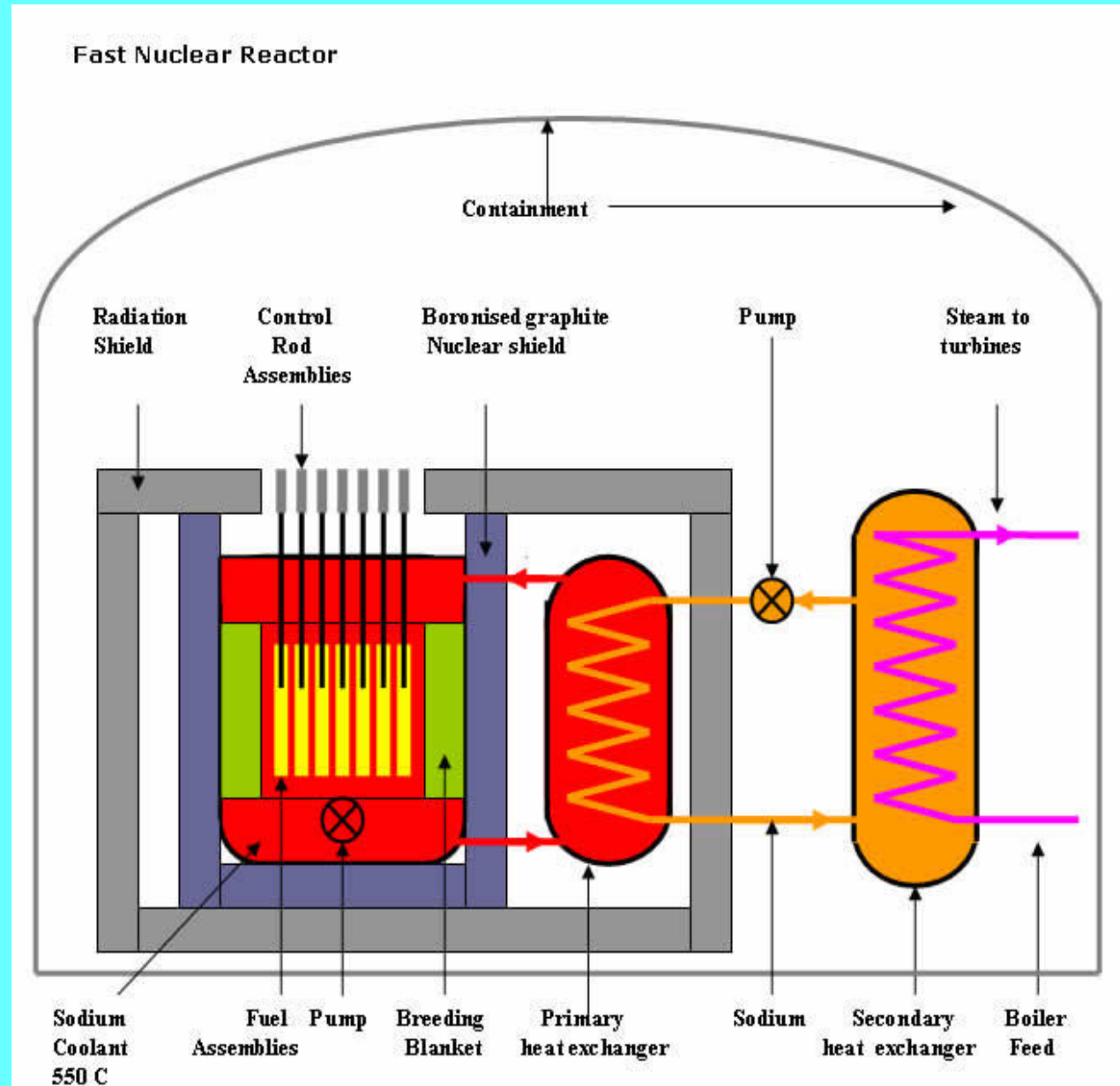
- *CANDU*
(*canadian system*)
- Στο CANDU οι σβόλοι όπου είναι τοποθετημένο το καύσιμο (UO₂) βρίσκονται μέσα σε σωλήνες όπου κυκλοφορεί το βαρύ νερό στους 200 ° C και σε 90 atm
- Το βαρύ ύδωρ : επιβραδυντής και ψυκτικό μέσο

GTNR (graphite-gas thermal neutron reactor)

- *Καύσιμο* : φυσικό μεταλλικό ουράνιο με τη εξής ιδιότητα: το χαμηλό σημείο τήξης του περιορίζει τη θερμοκρασία στην καρδιά του αντιδραστήρα καθώς και τη θερμική αποδοτικότητα
- *Επιβραδυντής* : γραφίτης
- *Ψυκτικό μέσο* : CO₂

Fast neutron reactors

- **Καύσιμο :**
Μίγμα διοξειδίων του ουρανίου και πλουτωνίου σε δοχεία ανοξειδωτου χάλυβα
- **Επιβραδυντής :** Δεν υπάρχει
- **Καρδιά-πυρήνας:**
Na (ψυκτικό υγρό)
Ο πυρήνας περιβάλλεται από UO_2 σε δοχεία από ανοξειδωτο χάλυβα
- **Απομάκρυνση θερμότητας :**
 - α) Θέρμανση Na από την καρδιά
 - β) Αντληση 1 ενδιάμεσου εναλλάκτη θερμότητας
 - γ) Θέρμανση Na σε δευτερεύον κύκλωμα
 - δ) Μεταφορά θερμότητας σε γεννήτρια ατμών



Τρέχουσες τεχνολογίες fast neutron reactors

Malten Salt Reactors

- ✓ Διαλύουν τα καύσιμα προς φθοριούχα άλατα
- ✓ Κάνουν χρήση φθοριούχων αλάτων ως ψυκτικό μέσο
- ✓ Όχι υψηλή πίεση
- ✓ Όχι εύφλεκτα στοιχεία στον πυρήνα τους

Liquid Metal Fast

Breeder Reactor

- Σύστημα ψύξης: υγρό μέταλλο
- Χωρίς ρυθμιστή
- Παράγει περισσότερα καύσιμα σε σχέση με αυτά που καταναλώνει
- Superphenix

Pebble Bed Reactors

- ✓ Χρήση μορφοποιημένου καυσίμου σε κεραμικά δοχεία στα οποία κυκλοφορεί το αέριο καύσιμο
- ✓ Μορφή ασφαλούς αντιδραστήρα

Accelerated driven subcritical reactors

- **Accelerator driven system :**

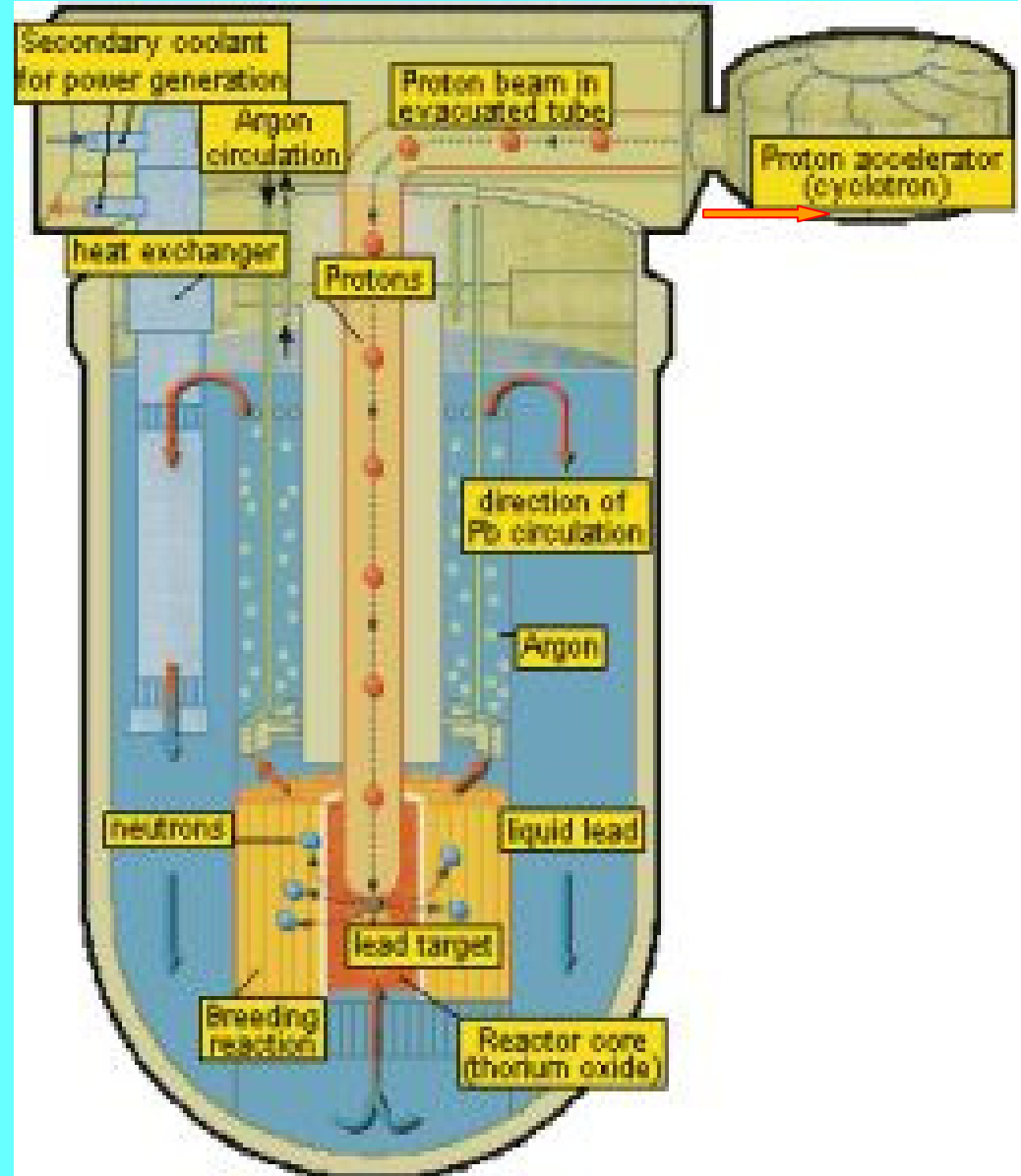
α) Είναι 1 επιταχυντής (1 GeV) που παράγει πρωτόνια

β) Κάθε πρωτόνιο που αλληλεπιδρά με 1 στόχο Pb δημιουργεί πυρηνικά θραύσματα και νετρόνια (σε αναλογία 1 προς 20)

γ) Δεν υπάρχουν επιβραδυντές ούτε ράβδοι ελέγχου

Σκοπός λειτουργίας :

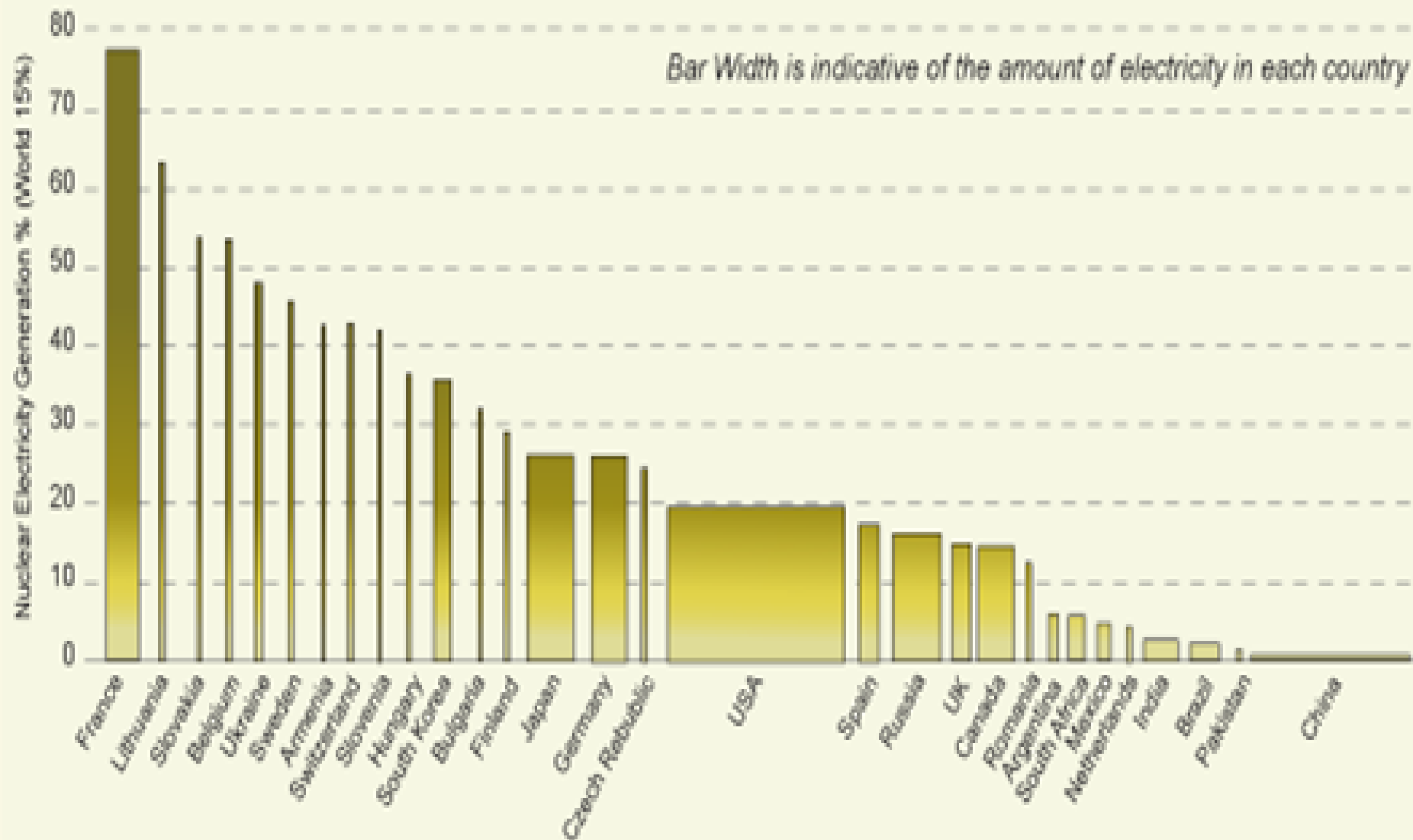
1) Καταστροφή βαρέων ισοτόπων (Ne-237, Am-241, Am-243, Pu-239).



Αρνητικές προεκτάσεις της λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων

- **Εκπομπή ραδιενεργών ουσιών προς την ατμόσφαιρα**
- **Δημιουργία πρόσθετων πυρηνικών μονάδων (μονάδα εξόρυξης ουρανίου κτλ)**
- **Διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων**
 - 1) **μεγάλο κόστος**
 - 2) **παράνομοι τρόποι αντιμετώπισής**
- **Μέσος όρος ζωής ενός αντιδραστήρα 30 χρόνια**

Nuclear Electricity Generation 2007



Πυρηνικός κύκλος καυσίμου

- **Thermal Reactors** → χρήση εμπλουτισμένου ουρανίου
- Μόνο το 1% U-235 υπάρχει σε φυσική αφθονία → αύξηση της περιεκτικότητας του ισοτόπου με φυγοκέντρηση ή διάχυση
 - μετατροπή σε σκόνη διοξειδίου του ουρανίου
 - δημιουργία ράβδων καυσίμου

Πυρηνική ενέργεια – κρίσιμα ερωτήματα

- **Πώς θα πρέπει να τοποθετηθούμε
απέναντι στη χρήση και λειτουργία των
πυρηνικών αντιδραστήρων;**
- **Κατά πόσο αληθεύει ότι συμβάλλουν
στην ‘πράσινη’ ανάπτυξη;**

Συμπεράσματα

Ερμηνεία

- 1) Πυρηνική σχέση και μηχανισμός
- 2) Δομή και βασική λειτουργία πυρηνικών αντιδραστήρων