ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Πυρηνική Τεχνολογία - ΣΕΜΦΕ

Κεφάλαιο 2ο

Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία

Παρουσίαση 2.22

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Περιεχόμενα Παρουσίασης 2.22

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

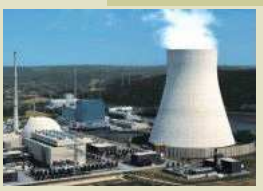
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Περιεχόμενα Παρουσίασης 2.22

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

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Εισαγωγή στην Πυρηνική Τεχνολογία



Κεφάλαιο 2ο

10. Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Ισχύος 4ης Γενιάς

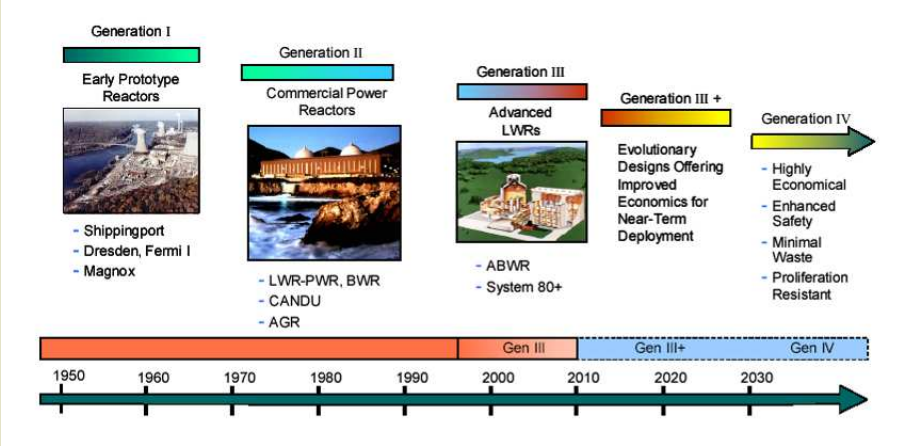
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

ΠΑΙ 4ης Γενιάς

Ι. Η Εξέλιξη των ΠΑΙ

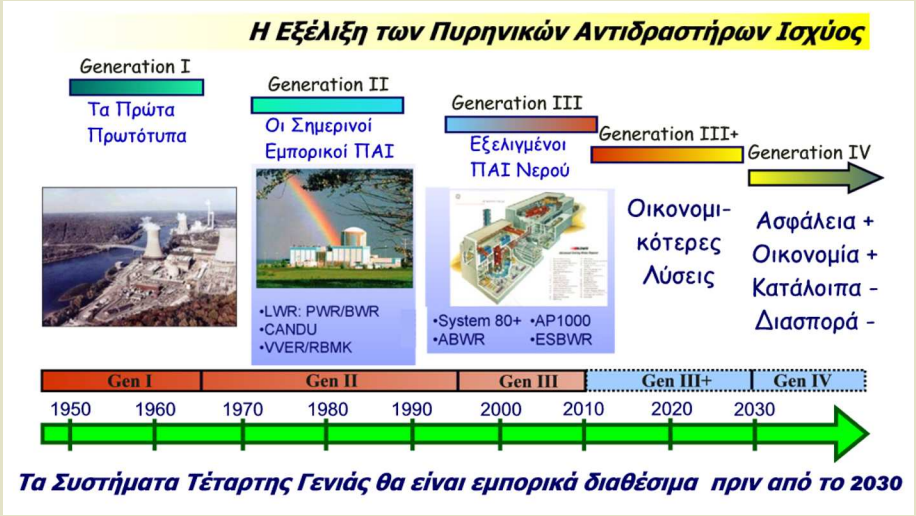
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Η Εξέλιξη των ΠΑΙ



ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Η Εξέλιξη των ΠΑΙ



ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

ΠΑΙ 4ης Γενιάς

ΙΙ. Η Εννοια της Αειφορίας

(Η Αειφόρος Ανάπτυξη)

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Η Εννοια της Αειφορίας (Sustainability)

- Δεν είναι εύκολο να αποδοθεί ο όρος *"**αειφορία**"*.
- Ισως ο καλύτερος ορισμός δίνεται στην Εκθεση του ΟΗΕ *'Our Common Future'* από την Επιτροπή Brundtland (1987).
- Εκεί ως *Αειφόρος* ορίζεται η ανάπτυξη εκείνη η οποία καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος, ενώ νοιάζεται για την επαύξηση και όχι τον περιορισμό των φυσικών πόρων στη διάθεση των επερχομένων γενεών, ώστε να καλύπτουν και εκείνες τις δικές τους εσαεί.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αειφορία
χαρακτηρίζει τους πόρους που :

- Δεν απομειώνονται σημαντικά με το χρόνο,
- Η αξιοποίησή τους δεν συνεπάγεται σημαντική περιβαλλοντική ρύπανση ή άλλους περιβαλλοντικούς κινδύνους,
- Η αξιοποίησή τους δεν προκαλεί διαιώνιση προβλημάτων υγείας στα έμβια, και
- Η αξιοποίησή τους δεν δημιουργεί κοινωνικές αδικίες.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αειφορία και Πυρηνική Ενέργεια

- Αυξανόμενη είναι παγκόσμια η επιθυμία για παραγωγή ενέργειας στα πλαίσια αειφορίας.
- Οι λειτουργούντες και ιδιαίτερα οι σχεδιοκατα-σκευαζόμενοι ΠΗΣ καλύπτουν σύμφωνα με Εκθέσεις Διεθνών Οργανισμών – κατά την άποψη του γράφοντος όχι όλες και όχι κεντρικά – τις προϋποθέσεις της αειφορίας, δεδομένου ότι ...

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αειφορία και ΠΗΣ

- ΟΙ ΠΗΣ ικανοποιούν απόλυτα τις προϋποθέσεις για καθαρό αέρα και αποκλείουν την εκπομπή αερίων τα οποία συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, εφόσον η λειτουργία τους δεν συνεπάγεται καύση.
- Με τη λειτουργία των ΠΗΣ δεν απομειώνονται οι διατιθέμενοι παγκόσμια φυσικοί πόροι, αντίθετα με την επώαση του ΠΚ μπορεί και να αυξάνονται.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

ΠΑΙ 4ης Γενιάς

ΙΙΙ. Η Πρωτοβουλία Generation IV & το GIF

Συστήματα 4ης Γενιάς : Σ4Γ

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Πυρηνοηλεκτρική Παραγωγή στις αρχές του 21ου Αιώνα

- Στις αρχές του 2002 βρίσκονταν σε λειτουργία 438 ΠΑΙ σε 31 χώρες, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια για περίπου 1 δισ. ανθρώπους.
- Η εγκατεστημένη ισχύς τους φτάνει το 17% παγκόσμια της ισχύος για ηλεκτροπαραγωγή.
- Οι ΠΑΙ αυτοί λειτουργούν αξιόπιστα χωρίς να επιβαρύνουν με τοξικά ή άλλα αέρια θερμοκηπίου το περιβάλλον.
- Ασφαλώς βέβαια υπάρχουν ακόμη πολιτικής φύσεως ζητήματα σχετικά με τα απόβλητα και τα κατάλοιπά τους.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Κίνητρα ως προς την περαιτέρω χρήση της Πυρηνικής Ενέργειας

- Ανησυχία ως προς τη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων και στο μέλλον.
- Κλιματικές μεταβολές εξαιτίας της καύσης.
- Ποιότητα τους αέρα.
- Ενεργειακή ασφάλεια, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των διασυνοριακών μεταφορών.
- Οι ΠΑΙ 2^{ης} & 3^{ης} γενιάς παρέχουν με ενέργεια οικονομικά συμφέρουσα και με ασφάλεια, αλλά έχουν ακόμη περιθώρια πολύπλευρης βελτίωσης.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Σκέψεις ενόψει της Σχεδίασης των ΠΑΙ του Μέλλοντος

- Αναβαθμισμένη – κατά το δυνατόν εγγενής – Ασφάλεια.
- Μεγαλύτερη Οικονομία – Μικρότερο Κόστος.
- Ελαχιστοποίηση των Καταλοίπων.
- Περιορισμός της δυνατότητας εξάπλωσης – διασποράς του πυρηνικού υλικού η οποία έχει ως απώτερο σκοπό την κατασκευή πυρηνικών όπλων (*proliferation*).
- Ο χαρακτηρισμός της πυρηνικής ενέργειας ως αειφόρου ή – τουλάχιστον – ως συμβάλλουσας στην αειφορία.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Η Πρωτοβουλία GIF
για τους ΠΑΙ 4ης Γενιάς (2030 - ?)

GIF : Generation IV International Forum

Δημιουργήθηκε (2000-2002) προκειμένου με αφετηρία τις πιοπάνω σκέψεις να σχεδιάσει και να επιλέξει ένα ή περισσότερα πυρηνοηλεκτρικά συστήματα για την επόμενη 4η γενιά ΠΑΙ

EURATOM

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Ποιοι συμμετέχουν στο GIF

- Κρατικές Υπηρεσίες, η Επιστημονικοί Φορείς & Κέντρα και η Βιομηχανία από τις 10 ιδρυτικές χώρες και
- Ο Οργανισμός Πυρηνικής Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ενωσης (Euratom).
- Την Τεχνική Γραμματεία του GIF ανέλαβε (Οκτ. 2003) η Γραμματεία του Οργανισμού Πυρηνικής Ενέργειας του ΟΟΣΑ (NEA-OECD).

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Οι 3 Κύριες Στρατηγικές Επιδιώξεις ως προς τη Στοχοθεσία του GIF

1. Οι Στόχοι αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη κριτηρίων με βάση τα οποία θα συγκριθούν τα υποψήφια Σ4Γ στα πλαίσια ενός τεχνολογικού οδικού χάρτη (*roadmap*).
2. Οι Στόχοι θα πρέπει να προσελκύσουν το ερευνη-τικό ενδιαφέρον για καινοτόμα συστήματα ΠΑΙ και Κύκλων ΠΚ.
3. Οι Στόχοι θα ωθήσουν και θα κατευθύνουν την Ερευνα και Ανάπτυξη (R&D) προς τα Σ4Γ, στα πλαίσια συνεργατικών προσπαθειών.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

8 Κοινοί Στόχοι σε 4 Κύριους Αξονες

1. Αειφορία (*Sustainability*)
2. Οικονομία (*Economics*)
3. Ασφάλεια & Αξιοπιστία (*Safety & Reliability*)
4. Περιορισμός με Τεχνολογικές Λύσεις των Δυνατοτήτων Διασποράς του Πυρηνικού Υλικού για Πολεμικούς Σκοπούς και Εξασφάλιση Φυσικής Προστασίας (*Proliferation Resistance and Physical Protection*)

Ολοι οι Στόχοι θεωρούνται εξίσου σημαντικοί

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αξονας-1 : Αειφορία

- Τα Σ4Γ θα παρέχουν αειφόρο ενέργεια που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις για καθαρό αέρα/περι-βάλλον και εξασφαλίζουν μακροχρόνια την αποτελεσματική χρήση του πρωτογενούς ΠΚ.
- Τα Σ4Γ θα πρέπει να ελαχιστοποιούν τα απόβλη-τα και τα κατάλοιπα οδηγώντας σε ισότοπα με σημαντικά μειωμένους χρόνους ημιζωής, ώστε να βελτιωθεί η προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αξονας-2 : Οικονομία

- Τα Σ4Γ θα πρέπει να είναι σημαντικά πλεονεκτι-κότερα από οικονομικής πλευράς έναντι των λοιπών μορφών ηλεκτροπαραγωγής.
- Τα Σ4Γ θα πρέπει δεν θα πρέπει να προκαλούν οικονομικούς κινδύνους μεγαλύτερους από τα συστήματα λοιπών μορφών ηλεκτροπαραγωγής.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αξονας-3 : Ασφάλεια & Αξιοπιστία

- Τα Σ4Γ θα πρέπει να υπερέχουν από πλευράς Ασφάλειας & Αξιοπιστίας.
- Τα Σ4Γ θα πρέπει να έχουν εξαιρετικά μικρή πιθανότητα καταστροφής του πυρήνα του Αντιδραστήρα.
- Τα Σ4Γ θα πρέπει να αποκλείουν την ανάγκη για οποιουδήποτε είδους βοήθεια έκτακτης ανάγκης εκτός του Σταθμού.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Αξονας-4 : Ενάντια στη Διασπορά & Φυσική Προστασία

- Τα Σ4Γ θα πρέπει να διαθέτουν τεχνολογικές λύσεις ώστε να περιορίζεται και να είναι απίθανα επιθυμητή η διασπορά του πυρηνικού υλικού για πολεμικούς λόγους και να παρέχουν αυξημένη ασφάλεια έναντι τρομοκρατικών ενεργειών.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

ΠΑΙ 4ης Γενιάς

IV. Ο Τεχνολογικός Οδικός Χάρτης - Διαδρομή (Roadmap) προς τους ΠΑΙ 4ης Γενιάς

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Ο Οδικός Χάρτης προς τα Σ4Γ

1. Ο ΟΧ θα προσδιορίσει διαδρομές Ερευνας & Ανάπτυξης (Ε+Α) προς τις πλέον ελπιδοφόρες τεχνολογίες.
2. Ο ΟΧ θα λάβει υπόψη του τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις και ιδιαιτερότητες διεθνώς.
3. Ο ΟΧ θα εστιάσει κατ'αρχήν σε τεχνολογίες ώριμες να δώσουν εμπορικό προϊόν όχι αργότερα από το έτος 2030.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Ο Οδικός Χάρτης προς τα Σ4Γ

4. Οι τεχνολογικές λύσεις θα πρέπει να αφορούν τόσο στο συνολικό ενεργειακό σχεδιασμό όσο και στον κύκλο του ΠΚ από την αρχή ως το τέλος του.
5. Ο ΟΧ θα πρέπει να είναι αναλυτικός ως προς τα στοιχεία Ε+Α, αλληλουχία λειτουργιών, εκτιμή-σεις κόστους, και δυνατότητες εθνικών ή διεθνών συνεργασιών.

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Ο Οδικός Χάρτης προς τα Σ4Γ

6. Τα συστήματα τα οποία θα προκρίνει ο ΟΧ θα πρέπει να έχουν αναλυθεί σε τέτοι βαθμό ώστε να επιτρέψουν στη βιομηχανία άμεση επιλογή και υλοποίηση.
7. Ιδιαίτερη φροντίδα θα πρέπει να δοθεί στο θέμα της ενημέρωσης της κοινωνίας, ώστε τα Σ4Γ να τύχουν της ευρύτερης δυνατής κοινωνικής αποδοχής.

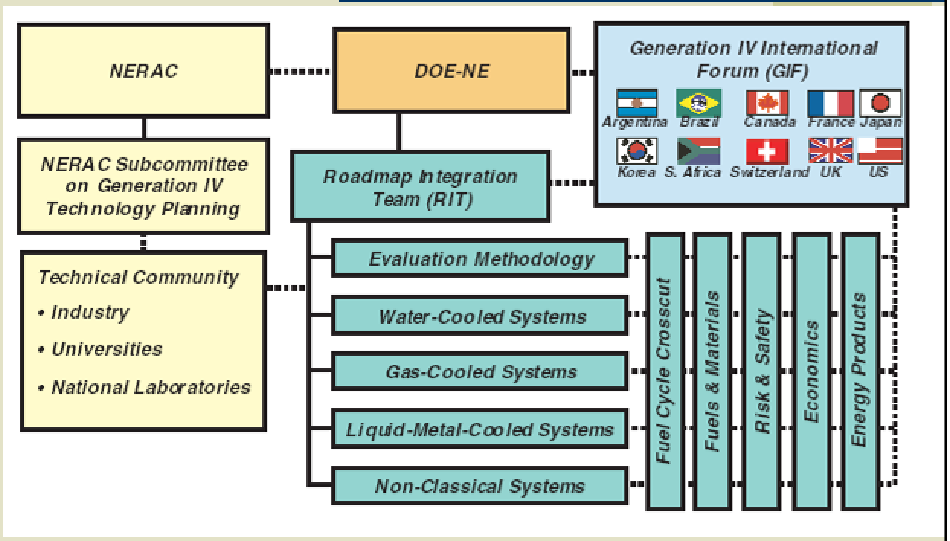
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Ενημέρωση και Κοινωνική Αποδοχή

- Η κοινωνία θα πρέπει να αποκτήσει εμπιστοσύνη στα Σ4Γ.
- Αφετηρία για τη θεμελίωση εμπιστοσύνης αποτελούν η ενημέρωση του κοινού και η διαφάνεια.
- Θα πρέπει να οικοδομηθεί ένας συνεχής διάλογος με την κοινωνία και τους φορείς της, σε όλες τις φάσεις εξέλιξης των Σ4Γ.
- Η κοινωνία θα πρέπει να ενημερωθεί πλατιά και απλά – αλλά εμπεριστατωμένα – ως προς τις σχεδιαζόμενες τεχνολογικές λύσεις.

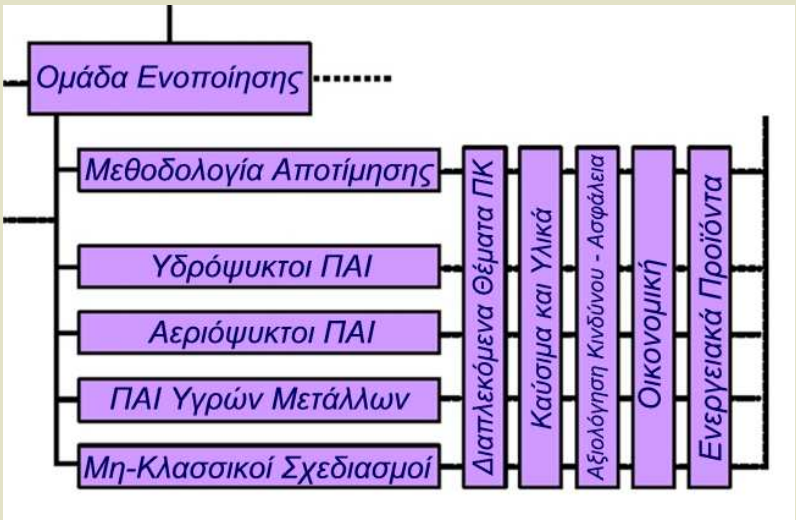
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Ο Οδικός Χάρτης προς τα Σ4Γ



ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Οι Τεχνολογικής Φύσεως Λειτουργίες του Ο.Χ.



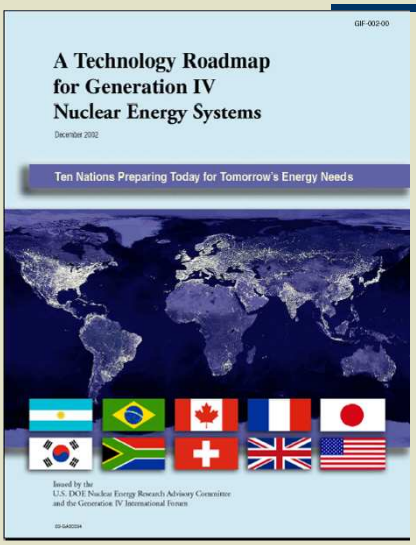
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

ΠΑΙ 4ης Γενιάς

V. Η Αρχική Επιλογή ως προς τους τα Συστήματα 4ης Γενιάς

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

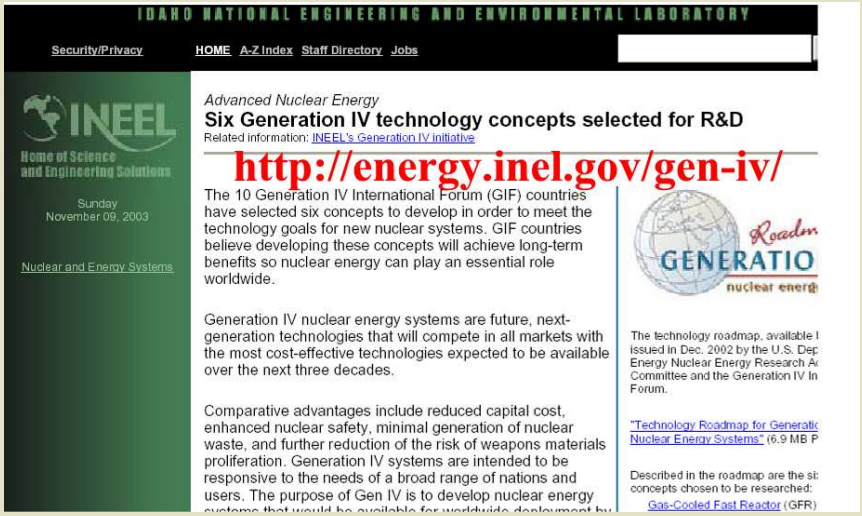
A Technology Roadmap for Generation IV N.E.S.



http://gen-iv.ne.doe.gov/

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Idaho National Engineering and Environmental Laboratory



ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Υπόμνημα Πίνακα

- ΦΝ : Φάσμα Νετρονίων (Τ : Ταχέα, Θ : Θερμικά)
- Κ-ΠΚ : Κύκλος Πυρηνικού Καυσίμου (Κλ.: Κλειστός, 1Ε : Κύκλος Μια κι Εξω)
- Sodium : Νάτριο
- Lead Alloy : Κράμα Μολύβδου
- Supercritical : (Νερό) σε υπερκρίσιμη κατάσταση
- Molten Salt : Τετηγμένο Αλας

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Τα 6 Συστήματα που έχουν προεπιλεγεί

Ακρων.	Τύπος	ΦΝ	Κ-ΠΚ
GFR	Gas Cooled Fast Reactor	Τ	Κλ.
VHTR	Very High Temperature Reactor	Θ.	1Ε
SCWR	Supercritical Water Cooled R.	Τ+Θ	1Ε-Κλ.
SFR	Sodium Cooled Fast Reactor	Τ	Κλ.
LFR	Lead Alloy Cooled Reactor	Τ	Κλ.
MSR	Molten Salt Reactor	Θ	Κλ.

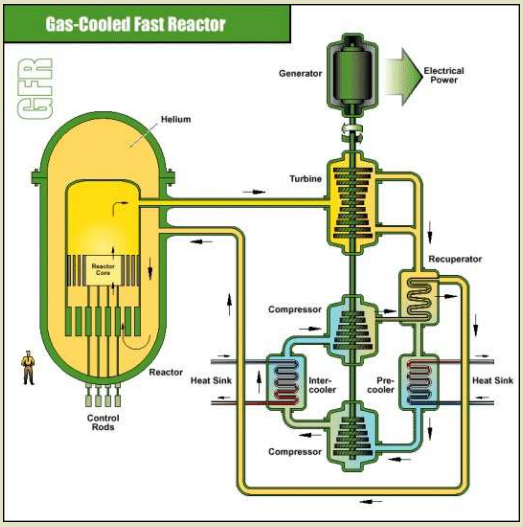
ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

Υπόμνημα Πινάκων

Φάσμα Νετρονίων - Επιβραδυντής
Ψυκτικό Μέσο
ΠΚ
Κύκλος ΠΚ
Κύκλος ΠΑΙ
Ηλ.Ισχύς (Mw_e)– Πυκνότητα Θερμικής Ισχύος (MW_{th}/m^3)

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

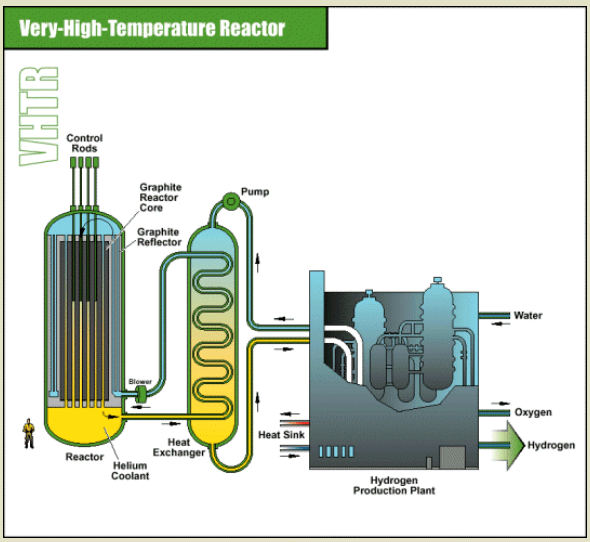
GFR : Αεριόψυκτος Ταχέων Νετρονίων



Ταχύ
Ηλιο (490/850°C)
Σύνθετο Κεραμικό U-Pu, Περίβλημα από Ακτινίδες
Κλειστός
Αμεσος
288 – 100

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

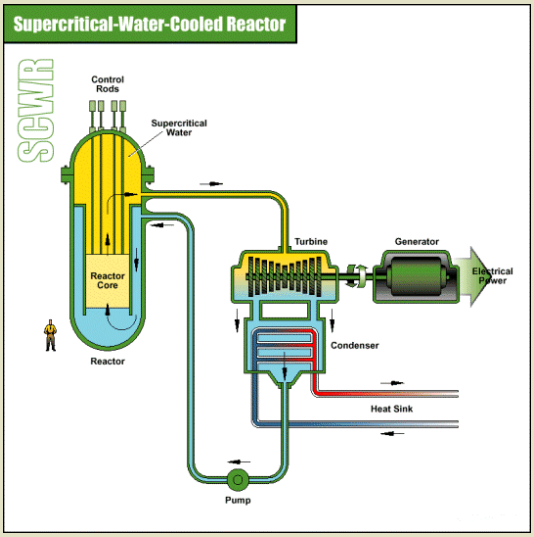
VHTR : Πολύ Υψηλής Θερμοκρασίας



Θερμικό – Γραφίτης
Ηλιο (640/1000°C)
U-Pu σε ZrC
Μια κι Εξω
Αμεσος ή Εμμεσος
300 – 10

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

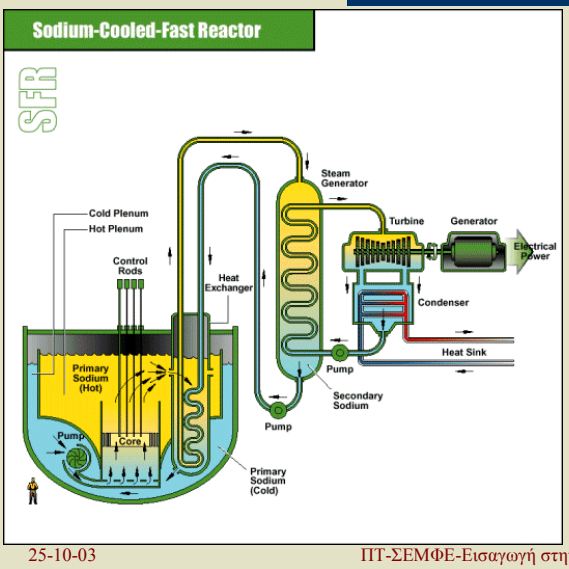
SCWR : Νερού σε Υπερκρίσιμη Κατάσταση



Ταχύ ή Θερμικό
Νερό 510°C/25MPa
UO_2 σε Ωστενιτικό SS
1Ε ή Κλειστός
Αμεσος
1700 – 100

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

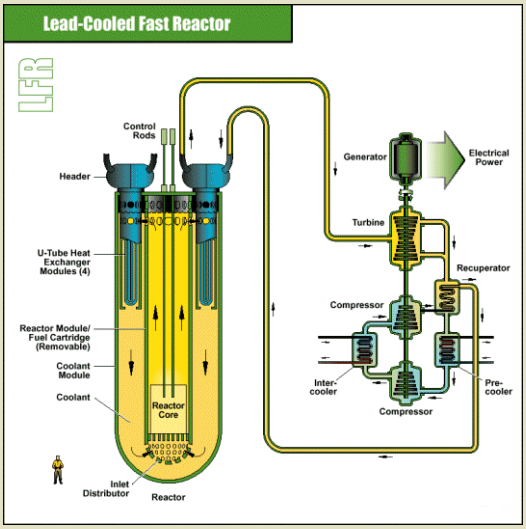
SFR : Ψυχόμενος από Υγρό Νάτριο - Ταχέων Νετρονίων



Ταχύ
Υγρό Νάτριο 530°C
MO_x
Κλειστός
Εμμεσος - Διπλός
1700 – 350

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

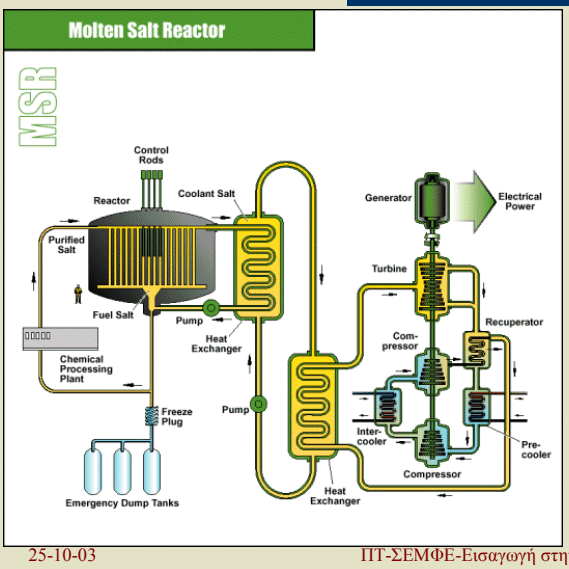
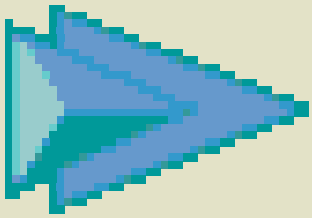
LFR : Ψυχόμενος από Κράμα Μολύβδου



Ταχύ
Pb ή Pb-Bi 550-800°C
MO_x & Ακτινίδες
Κλειστός
Εμμεσος
400/1200

ΕΜΠ-ΜΜ
Ε-ΠΤ

MSR : Αντιδραστήρας Τετηγμένου Αλατος



Θερμικό - Γραφίτης
Υγρό Νάτριο, Ζιρκόνιο & Ουράνιο 700 °C (οξείδ. F)
Το πιοπάνω μίγμα
Κλειστός
Εμμεσος - Διπλός
1000 – 22