



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ: 3. Πυρηνική

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: Δ. ΚΑΡΑΜΑΝΗΣ

**ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων**

ΑΓΡΙΝΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΚΑΡΑΜΑΝΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Εναλλακτικών Πηγών
Ενέργειας



Επικοινωνία: +30 264107-4210

Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο: dkaraman@upatras.gr



Ορισμοί

- Νουκλίδιο: Το πυρηνικό είδος με συγκεκριμένο αριθμό πρωτονίων και νετρονίων
Νουκλεόνιο: πρωτόνιο ή νετρόνιο, Μαζικός Αριθμός = A =αριθμός νουκλεονίων = $N+Z$
Ατομικός Αριθμός= Z =αριθμός πρωτονίων

- Ισότοπα: ίδιο Z , διαφορετικό A

1	2	3
H (πρωτόνιο)	H (δευτέριο)	H (τρίτιο)
1	1	1

- Ισοβαρή: ίδιο A , διαφορετικό Z

140	140	140	140
Cs	Ba	La	Ce
55	56	57	58

- Ισότονα: ίδιο N , διαφορετικό A

14	15	16
C	N	O
6	7	8

- Ατομική Μονάδα Μάζας (amu): $1 \text{ amu} = 1/12$ της μάζας του ^{12}C

- Μάζες ατομικών σωματίων

$m_p = 1.00783 \text{ amu} = \text{μάζα πρωτονίου (αναλλοίωτη μάζα } 1.672621777(74) \times 10^{-27} \text{ kg)}$

$m_n = 1.00867 \text{ amu} = \text{μάζα νετρονίου (αναλλοίωτη μάζα } 1.674927351(74) \times 10^{-27} \text{ kg)}$

$m_e = 0.000547860 \text{ amu} = \text{μάζα ηλεκτρονίου (αναλλοίωτη μάζα } 9.10938291(40) \times 10^{-31} \text{ kg)}$

Ορισμοί

- Μονάδες ραδιενέργειας

curie (Ci) = 3.7×10^{10} διασπάσεις /s = 3.7×10^{10} Bq

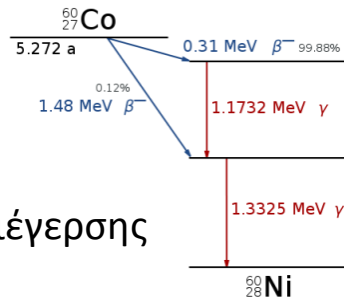
millicurie (mCi) = 10^{-3} Ci

microcurie (μCi) = 10^{-6} Ci

- Τρεις βασικοί Τρόποι Ραδιενεργών Αποδιεγέρσεων

Αποδιέγερση-α ${}_{92}^{238}\text{U} + {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He} + \alpha$ $Q=4.28$ MeV, $E_\alpha=234/238 \times 4.28$ MeV = 4.21 MeV

Αποδιέγερση β και σύλληψη ηλεκτρονίου ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + e^- + \nu_e$ $Q_\beta=156$ keV, $E_\beta=0$ έως Q_β
 Αποδιέγερση γ



https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray

- Νόμος ραδιενεργού αποδιέγερσης

Ραδιενέργεια $A = \text{σταθερά αποδιέγερσης } \lambda \times \text{αριθμό πυρήνων } N$

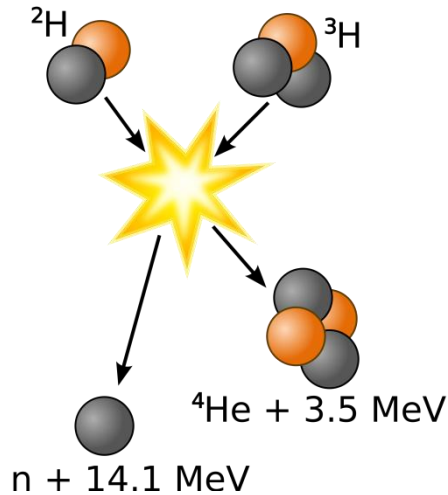
ή $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ή $N_t = N_o e^{-\lambda t}$

Για $A_t = 0.5 A_o \rightarrow t = t_{1/2}$ (χρόνος ημιζωής)

Αντιδράσεις Παραγωγής Πυρηνικής Ενέργειας

Πυρηνική Σύντηξη

Η ενέργεια σύντηξης προκύπτει όταν δύο ελαφροί πυρήνες ενώνονται για το σχηματισμό άλλων πυρήνων, σωματιδίων και την ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας.



https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion

Από το 1950, οι προσπάθειες παραγωγής ενέργειας σύντηξης

Πρόγραμμα ITER

Ισχύος 500 MW (10 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για τον περιορισμό του πλάσματος σε υψηλές θερμοκρασίες)

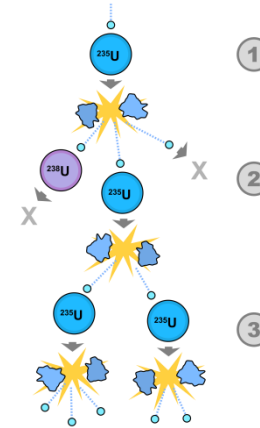
Κόστος Κατασκευής (10 χρόνια): 5 G€

Κόστος Λειτουργίας (20 χρόνια): 5 G€

Τόπος κατασκευής: Cadarache, Νότια Γαλλία

Πυρηνική Σχάση

- νετρόνια διασπούν τους πυρήνες ατόμων όπως U-Pu
- απελευθέρωση ενέργειας (θερμότητα) 200 MeV/σχάση, $8.2 \times 10^{13} \text{ J/kg}$
- παραγωγή νετρονίων (2.5 n/σχάση)

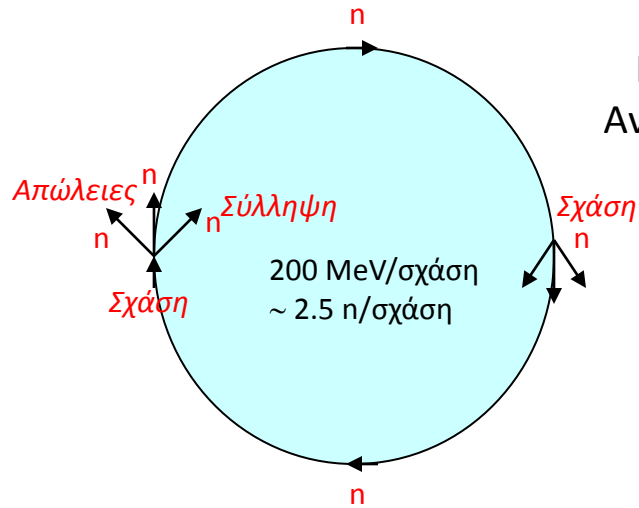


https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission

Επιλογή στη δεκαετία του 50 ανάπτυξης κύκλου U-Pu και όχι Th-U

Αρχή Λειτουργίας Πυρηνικών Αντιδραστήρων

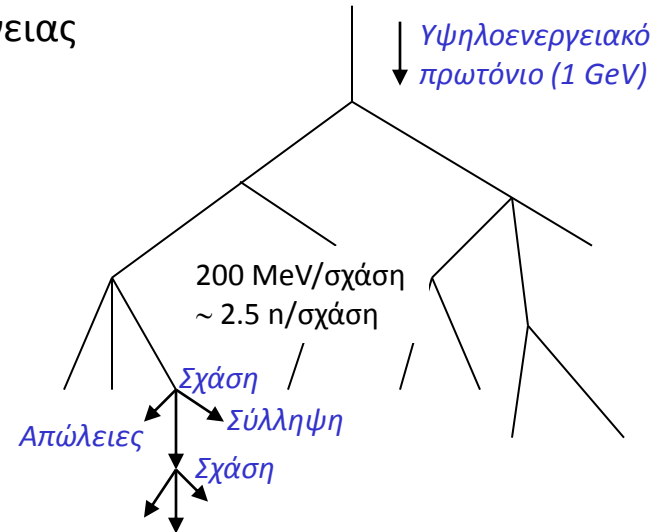
Αλυσιδωτή αντίδραση



Πυρηνικός Αντιδραστήρας $\xrightarrow{\text{Ενισχυτής Ενέργειας}}$

Νέα Πυρηνικά Συστήματα Υποβοηθούμενα από Επιταχυντή Accelerator Driven Systems (ADSs)

Πυρηνικός καταιγισμός



☞ Ενεργός πολλαπλασιαστικός παράγων νετρονίων

$$k = \frac{\text{Παραγωγή}}{\text{Απορρόφηση} + \text{Απώλειες}}$$

- ☞ Αυτοσυντηρούμενη $k=1$
- ☞ $k < 1 \Rightarrow$ αντιδραστήρας σταματά
- ☞ $k > 1 \Rightarrow$ αντιδραστήρας υπερκρίσιμος
- \Rightarrow χρονική παράγωγος ισχύος ρυθμίζεται ίση με το μηδέν

☞ Εξωτερικά υποβοηθούμενη διαδικασία:
 $k < 1$ ($k=0.98$)

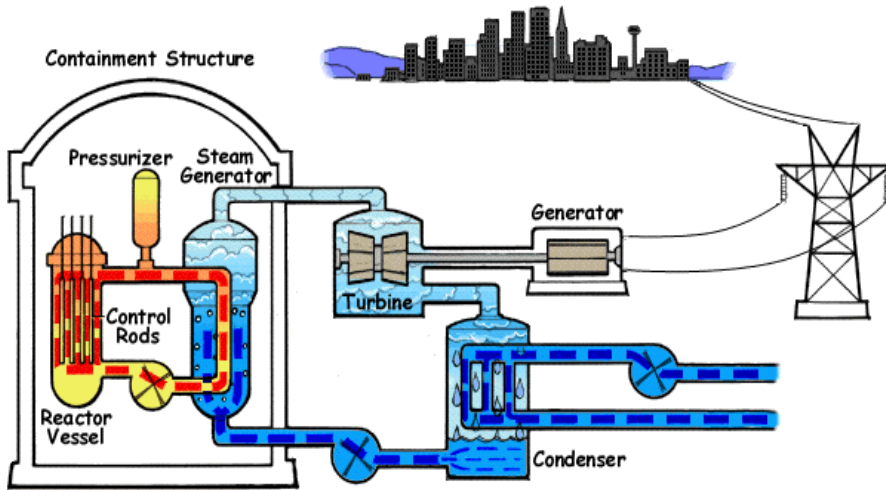
$$E_{\text{tot}} = G \times E_p$$

Παραγόμενη Ενέργεια Ενέργεια Δέσμης
 \Rightarrow Σταθερή Ενίσχυση Ενέργειας

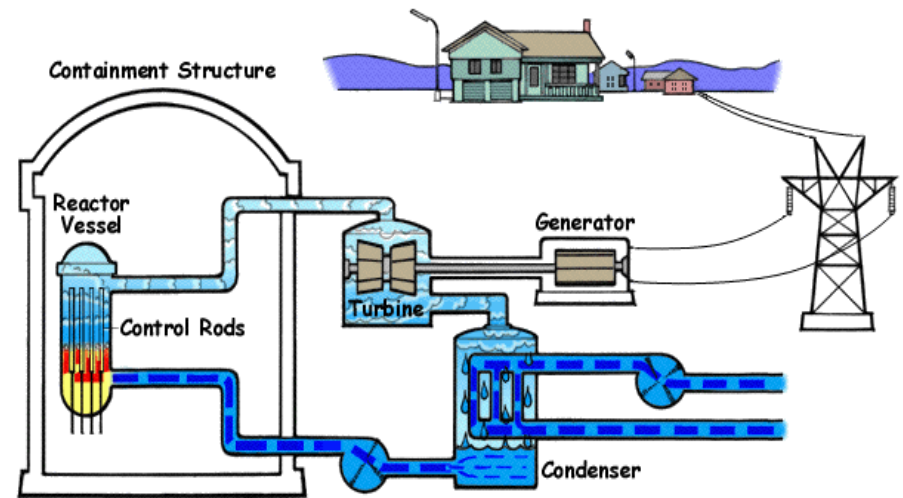
$G=30$, $P_{\text{παραγ}}=1 \text{ W}$ για 10^{18} πρωτόνια/sec με $E_p=1 \text{ GeV}$
 $\rightarrow 1000 \text{ MW EA}$ για $I_p= \text{mA}$

Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Ισχύος Γενιάς II

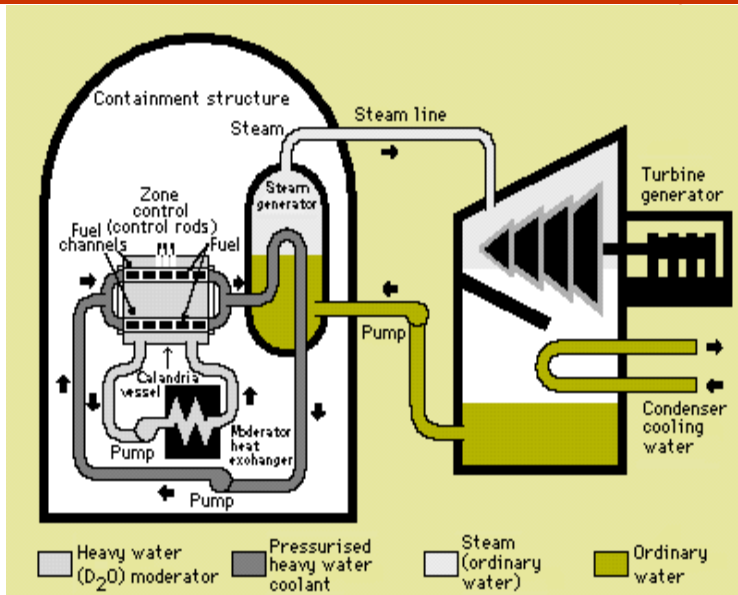
Pressurized Water Reactors (PWR)



Boiling Water Reactors (BWR)



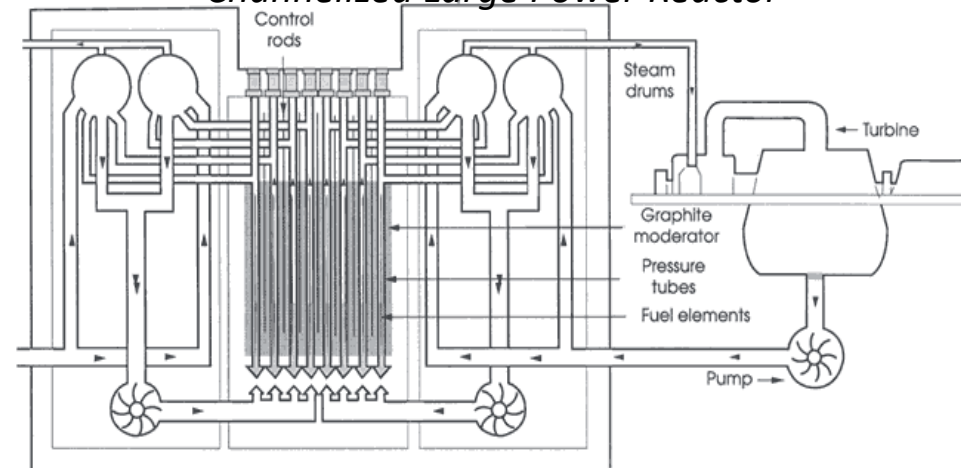
Canadian Deuterium Uranium- PHWR (CANDU)



Reactor Boishoi Moschnosti Kanalnyi

(RBMK)

Channelized Large Power Reactor



Σύγκριση των εκπομπών του κύκλου ζωής Ισοδύναμοι Τόνοι CO₂/GWh

Λιγνίτης	979
Αέρια	462
Βιομάζα	253
Φωτοβολταϊκό	53
Γεωθερμική	42
Υδροηλεκτρική	26
Πυρηνική	13
Αιολική	12

Προβλήματα Πυρηνικής Ενέργειας

Όμως:

1. χρήση για στρατιωτικούς σκοπούς
2. διαθεσιμότητα πυρηνικών καυσίμων
3. πυρηνικά ατυχήματα (Chernobyl, Fukushima)
4. συσσώρευση πυρηνικών αποβλήτων

Πυρηνικά Απόβλητα

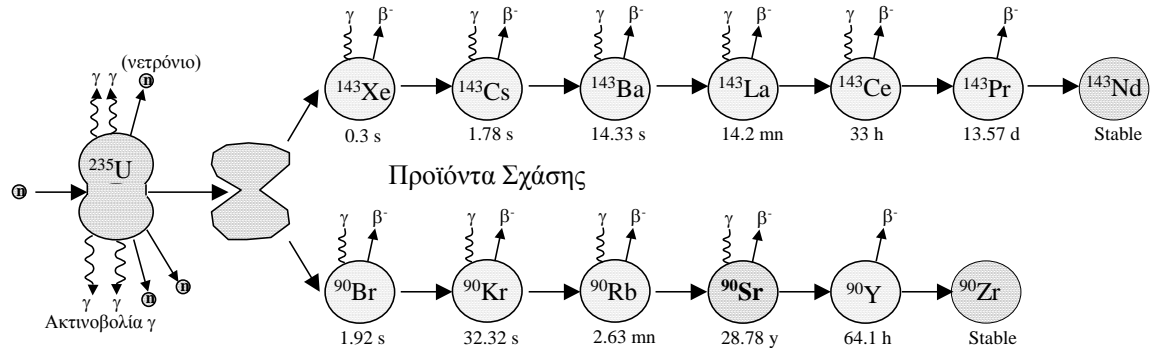
A. Υπερουράνια Στοιχεία (1.1 %)

(Np, Pu, Am, Cm κλπ.)

Παράγονται λόγω νετρονιακής σύλληψης και τις ακόλουθες αποδιεγέρσεις (πχ. $n + {}^{238}\text{U} \rightarrow {}^{239}\text{U}$ ($t_{1/2}: 23 \text{ mn} \rightarrow {}^{239}\text{Pu}$ κλπ.) (100 τον/χρόνο ${}^{239}\text{Pu}$ παράγονται παγκοσμίως στους αντιδραστήρες + Pu για στρατιωτικούς σκοπούς)

B. Προϊόντα Σχάσεως (98.9 %)

- Μακρόβια (${}^{129}\text{I}$, ${}^{99}\text{Tc}$, ${}^{135}\text{Cs}$...)
- Βραχύβια (${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{90}\text{Sr}$...)



Στο τέλος της ζωής των σημερινών αντιδραστήρων:

0.33×10^6 τόνοι αποβλήτων, Ραδιενέργεια: 3.3×10^{13} Sv (Επιτρεπτό όριο 2.0 mSv/χρόνο)

Επαναφορά στην αρχική ραδιενέργεια μετά από εκατομμύρια χρόνια

Πυρηνικά Απόβλητα Δύο Κατηγοριών

1. ^{137}Cs - ^{90}Sr : Δημιουργούν το πρόβλημα για τα επόμενα 300 χρόνια

Οι προσπάθειες επικεντρώνονται στη στερεοποίηση των αποβλήτων μέσω δεσμευτών και την αποθήκευση για μακρά διάρκεια. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κατάλληλος και φτηνός δεσμευτής κεσίου και στροντίου

Προταθέντες Λύσεις: IonsivTM, SrtreatTM

2. Ακτινίδες και Προϊόντα Σχάσης (^{129}I , ^{99}Tc , ^{135}Cs) με πρόβλημα > 300 χρόνια

Προβλήματα: Δε γίνεται να παρακολουθούνται για 10^6 χρόνια

Φόβοι πιθανών διαρροών στη βιόσφαιρα

Φόβοι χρήσης για στρατιωτικούς σκοπούς

Λύσεις: Μόνιμη αποθήκευση σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους χωρίς παρακολούθηση

ή

Μεταστοιχείωση σε λιγότερο βλαβερά στοιχεία

Ραδιενεργά απόβλητα Λύσεις;

Γεωλογική εναπόθεση
Επιφανειακή αποθήκευση
Βαθιά στη γη
Θαλάσσια εναπόθεση
Υπο-θαλάσσια εναπόθεση
Ανταρκτική
Διάστημα

Πολύ-φραγματικός
περιορισμός

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την 1^η έκδοση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Δημήτρης Καραμάνης, 2015.

Δημήτρης Καραμάνης, «Περιβάλλον - Ενέργεια». Έκδοση: 1.0. Αγρίνιο 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/ENV110/index.php>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Απαγόρευση Εμπορικής Χρήσης και Όχι Παράγωγα Έργα. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

« Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις του καθηγητή Δ. Καραμάνη».



Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 6: https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray

Διαφάνεια 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission

Διαφάνεια 9: https://en.wikipedia.org/wiki/Pressurized_water_reactor

