



# ENERGETICA NUCLEARĂ

---

SCOALA CU CLASELE I- VIII ALBEȘTII DE MUSCEL



# Producerea energiei electrice

- Energia electrică se produce la scară industrială în instalații numite *centrale electrice*. În funcție de tipul de energie transformată în energie electrică, cele mai importante pot fi:
- **termocentrale** – în care se transformă energie termică, rezultată prin arderea combustibililor;
- **hidrocentrale** – în care se transformă energia potențială a apei;
- **nucleo-electrice** – în care se transformă energia rezultată din reacțiile nucleare.

- **Centrala nucleară (CN)**

**ENERGIE NUCLEARĂ**      **—————>**      **ENERGIE ELECTRICĂ**

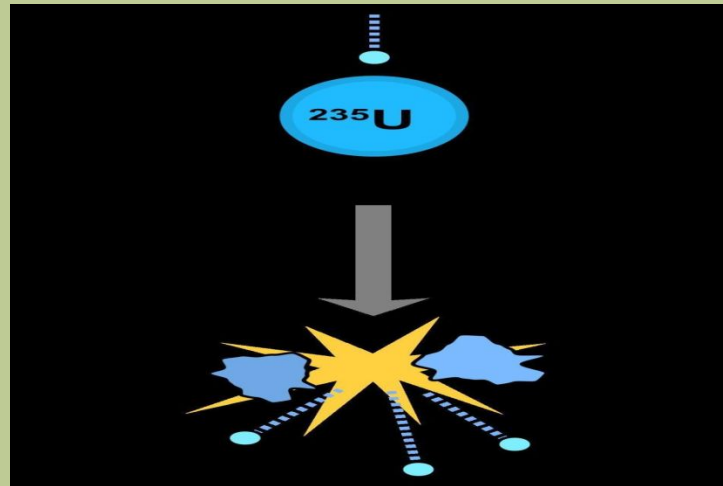
- **Energia necesară în aceste centrale se obține în urma reacțiilor nucleare.**
- Descoperirea radioactivității artificiale și apoi aceea a fisiunii uraniului, în deceniul al patrulea al acestui secol, au dat un puternic impuls cercetărilor de fizică nucleară. Pentru marele public, energia nucleară a ieșit însă din anonimat abia după aruncarea celor două bombe nucleare în 1945 asupra Japoniei. Aceasta sursă de energie – **energia nucleară** – a fost adusă la cunoștința omului prin forța distructivă și va fi multă vreme privită cu teamă și suspiciune, întâmpinând destule obstacole în drumul dezvoltării ei în scopuri pasnice. De aceea se impune familiarizarea maselor largi cu problema nucleară, atât cu partile bune, cât și cu pericolele poluării radioactive, astfel încât deciziile să fie luate cunoscându-se toate datele problemei.

# Energia nucleară

- Energia nucleara se bazeaza pe reactii nucleare.
- Reactiile nucleare – sunt transformările suferite de nucleele atomilor unor substante, cand sunt bombardate cu particule alfa, beta si neutroni.
  - a) daca energia de reactie  $Q$  mai mica decat 0, avem reactii **endoenergetice**, care se petrec numai cu absorbtia unei parti din energia cinetica a particulelor incidente.
  - b) daca energia de reactie  $Q$  mai mare decat 0, avem reactii **exoenergetice**, in care se elibereaza energie nucleara sub forma de energie cinetica, se mai numesc si reactii exoterme, deoarece se elibereaza energie si sub forma de caldura.
- **Intr-o reactie nucleara numarul de nucleoni care intra in reactie, este egal cu numarul de nucleoni rezultati din reactie.**
- Exemple: bombardarea nucleului de azot cu o particulă  $\alpha$ :
  - ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$  unde  ${}^1_1\text{H} \equiv {}^1_1\text{p}$ , deci rezultă un izotop al oxigenului și un proton, iar reacția se numește *transmutație nucleară*.
  - ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{p} \rightarrow 2 {}^4_2\alpha + Q$  unde  $Q \approx 836 \cdot 10^9 \text{J}$ ;
  - ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ ,  ${}^1_0\text{n}$  este un neutron care se transmută.

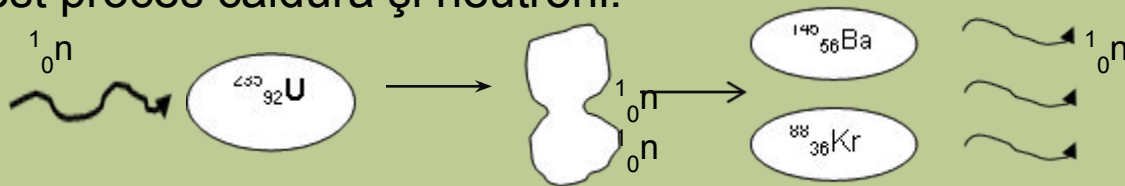
# Reacții nucleare

- Termenul de energie nucleara este folosit in doua contexte:
  - **la nivel microscopic**, energia nucleara este energia asociata fortelor de coeziune a nucleonilor data de interactiunea tare a protonilor si neutronilor din nucleeele atomice.
  - **la nivel macroscopic** prin energie nucleara se intelege energia eliberata prin reactiile de fuziune nucleara din stele si din bombele cu hidrogen, respectiv cea eliberata prin fisiune nucleara in bombele atomice si in aplicatiile civile (centrale nucleare).
- De-a lungul erei nucleare, energia nucleara a fost folosita in diverse scopuri, mai mult sau mai putin constructive, iar unele dintre acestea au dat nastere la anumite incidente.

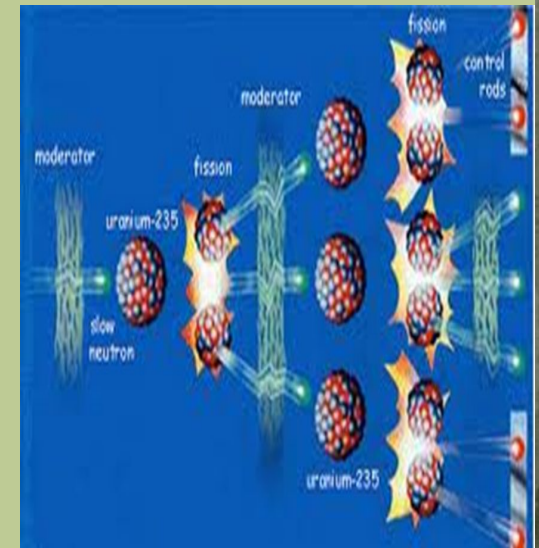


# Fisiunea nucleară

- În 1934 Enrico Fermi a studiat reacții pe nuclee grele, la bombardarea acestora cu neutroni, observând că la bombardarea uraniului apar mulți produși derivați emițători  $\beta^-$  radioactivi. În experiențele lor Joliot Curie și Savitch, stimulați de Fermi au găsit printre produșii derivați un element  $\beta^-$  activ, pe care l-au luat drept un izotop al radiului.
- Otto Hahn și Strassman au încercat să identifice acest izotop, găsind spre surprinderea lor că activitatea  $\beta^-$  trebuie să aparțină unui izotop de bariu și nu se lăsa identificat ca radiu. În publicația lor (ianuarie 1939) Hahn și Strassman trăgeau de aici concluzia, că la bombardarea cu neutroni lenti nucleul de uraniu se scinda în două fragmente, aproximativ egale ca mărime, eliberându-se în acest proces căldură și neutroni.



- Exemple:  
$${}^1_0n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{145}_{56}\text{Ba} + {}^{88}_{36}\text{Kr} + 3\,{}^1_0n$$
$${}^1_0n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{36}\text{Sr} + 2\,{}^1_0n$$



# Fisiunea nucleară

- **Fisiunea – este scindarea unui nucleu greu în două nuclee medii.**
- **Explicația** se poate face cu ajutorul modelului picătură al nucleului – un neutron lent (termic) captat de un nucleu greu, comunică nucleonilor acestuia energia lui de legătură și energia lui cinetică (vezi figura) și ca urmare crește agitația termică a nucleonilor, nucleul începe să vibreze, se alungește învingând forțele de tensiune superficială, până când forțele de respingere electrostatică dintre nucleoni, îl rup în două părți.
- Energia din starea de excitație a nucleului care este supus fisiunii se numește **energie critică**; de exemplu  $^{235}_{92}\text{U}$  are  $W_c = 6,5\text{MeV}$ ;  $^{238}_{92}\text{U}$  are  $W_c = 7\text{MeV}$ . Sunt mai ușor fisionabile nucleele cu un număr de masă impar ( $^{235}_{92}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) cu neutroni lenți și  $^{238}_{92}\text{U}$  cu neutroni rapizi.
- Fisiunea nucleară eliberează o însemnată cantitate de energie, care se poate calcula prin diferența de masă, fiind de aproximativ  $200\text{MeV}$ ; **deci  $1\text{kg } ^{235}_{92}\text{U}$  produce prin fisiune  $8 \cdot 10^{13}\text{J}$ , energie care este echivalentă cu arderea a 2500 tone de ulei.** Neutronii rezultați în urma proceselor de fisiune nucleară, dispun de o energie cinetică mare, ei putând îndeplini rolul de particule proiectil, dacă întâlnesc în drumul lor alte nuclee fisionabile.

# Fisiunea nucleară

- **Elementele care fisionează cu neutroni termici, se numesc materiale fisile.** Ex.  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ . **Elementele care fisionează cu neutroni rapizi, se numesc materiale fisionabile iar, cele care prin captură de neutroni se transformă în materiale fisile, sunt considerate materiale fertile.** Ex.  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ , fisiune  $^{235}\text{U}$ :
- Energia de fisiune se repartizează, ca energie cinetică fragmentelor de fisiune, comportându-se ca particule cu parcurs mic.
- Neutronii rezultați din fisiuni se încadrează în două grupe: prompti și întârziati. Cei prompti sunt eliberați odată cu fragmentele de fisiune (FF) (chiar de către FF, după 10-14s) și au energii de max. 6 MeV, energia probabilă fiind de 0,85 MeV. Simultan se emite radiația  $\gamma$  promptă. Neutronii întârziati sunt emisi ca produși de dezexcitare a unor nuclee care apar ca urmare a dezintegrării  $\beta$ -a FF.
- Fisiunea nucleară, cunoscută și sub denumirea de fisiune atomică, este un proces în care nucleul unui atom se rupe în două sau mai multe nuclee mai mici, numite produși de fisiune și, în mod uzual, un număr oarecare de particule individuale. Așadar, fisiunea este o formă de transmutație elementară. Particulele individuale pot fi neutroni, fotoni (uzual sub formă de raze gamma) și alte fragmente nucleare cum ar fi particulele beta și particulele alfa. Fisiunea elementelor grele este o reacție exotermă și poate să elibereze cantități substanțiale de energie sub formă de radiații gamma și energie cinetică a fragmentelor (încălzind volumul de material în care fisiunea are loc).

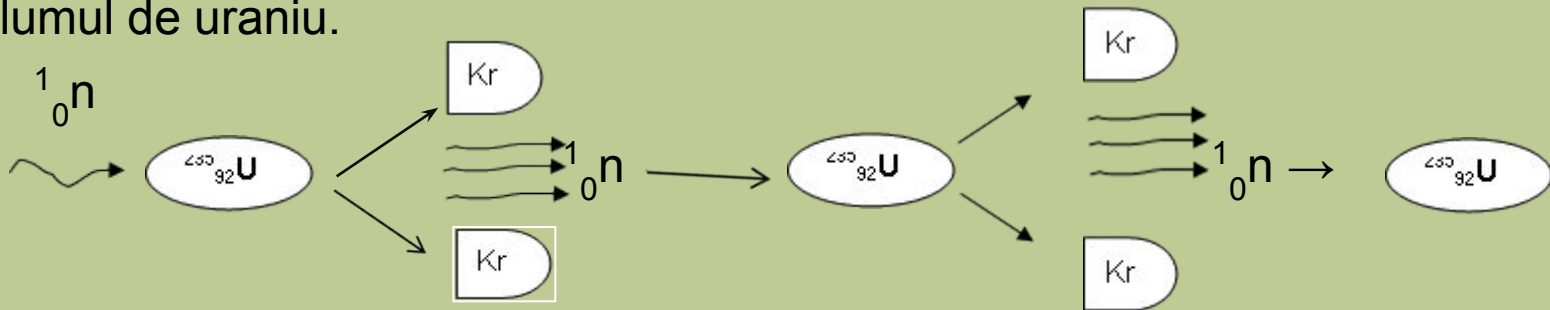
# Fisiune spontană și fisiunea indusă; reacții în lanț

- Multe elemente grele, cum ar fi uraniu, toriu și plutoniu, suferă ambele tipuri de fisiuni:
  - fisiunea spontană, ca o formă a dezintegrării radioactive și
  - fisiunea indusă, o formă a reacției nucleare.
- Izotopii elementari fisionează când sunt loviți de un neutron liber (rapid) se numesc fisionabili; izotopii care fisionează când sunt loviți cu neutroni lenți (neutroni termici) sunt numiți fisili. Câțiva fisili particulari și izotopii ușor de obținut (ca  $^{235}\text{U}$  și  $^{239}\text{Pu}$ ) se numesc combustibili nucleari deoarece ei pot să susțină o reacție în lanț și pot fi obținuți în cantități destul de mari pentru a fi utilizați.  
<http://www.youtube.com/watch?v=HmbzJGf9oXc&feature=related>
- Toți izotopii fisionabili și fisili suferă și un număr mic de fisiuni spontane care eliberează un număr mic de neutroni liberi (rapizi) în interiorul eșantionului de combustibil nuclear. Neutronii emiși rapid din combustibil devin neutroni liberi, cu un timp de înjumătățire de aproape 15 minute înainte să se dezintegreze în protoni și radiații beta.



# Reacția în lanț

În fisiunea nucleelor de uraniu s-a găsit o reacție care este declanșată de un neutron și care la rândul ei eliberează 1-3 neutroni; prin aceasta procesul furnizează proiectile noi și există posibilitatea ca procesul de fisiune să fie menținut, fără alimentare cu neutroni din exterior, sub forma unei reacții continue până la epuizarea completă a materialului fisionabil, deci avem o *reacție în lanț*; lucru care se poate întâmpla la nuclee de  ${}^{235}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{233}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{239}_{92}\text{U}$  unde neutronii expulzați provoacă la rândul lor fisiunea altor nuclee. Uraniul natural este format dintr-un amestec de trei izotopi  ${}^{235}_{92}\text{U}$  (0,714%),  ${}^{238}_{92}\text{U}$  (99,28%) și  ${}^{234}_{92}\text{U}$  (0,00548%, dar la reacția în lanț participă exclusiv  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , dar nu toți neutronii rezultați în urma fisiunii pot produce alte fisiuni, o parte dintre ei fiind captați de nuclee impuritate, alții de nuclee de  ${}^{238}_{92}\text{U}$ , iar altă parte ies din volumul de uraniu.



# Reacția în lanț

- Pentru a întreține reacția în lanț, în medie cel puțin unul din neutronii rezultați dintr-un nucleu, trebuie să producă o nouă fisiune. La o compoziție a materialului fisionabil această condiție este cel puțin egală cu o valoare, numită **masă critică**.
- Când mai mult de unul din neutronii expulzați dintr-un nucleu produc noi fisiuni, numărul fisiunilor în unitatea de timp crește în progresie geometrică și are loc **explozia nucleară**.
- Dacă numai un singur neutron dintr-un nucleu produce o nouă fisiune, numărul fisiunilor din unitatea de timp rămâne constant și atunci avem **reacție în lanț controlată**.
- Energia eliberată în urma fisiunii nucleare este de 200MeV, iar la fisiunea tuturor nucleelor dintr-un kg de uraniu, eliberează energia de  $4,7 \cdot 10^{26} \text{MeV} = 7,5 \cdot 10^{13} \text{J}$ , deci de  $3 \cdot 10^{16}$  ori mai eficace decât huila.

# Fuziunea nucleară

- La fisiune se câștigă energie, deoarece fragmentele nucleare posedă energie de legătură medie per nucleon mai mare decât a nucleului de uraniu și rezultă ideea că energia eliberată la unirea constituienților nucleari într-un nucleu s-ar putea valorifica.
- **Fuziunea nucleară este reacția nucleară de sinteză a unui nucleu greu, mai stabil, din nuclee mai ușoare.**
- Dacă energia de legătură a unui nucleon a nucleelor inițiale este mai mică decât a nucleului final, diferența va fi eliberată în cadrul reacției; acest lucru este valabil pentru nucleele ușoare:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{D}$ ,  ${}^3_1\text{T}$ ,  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^7_3\text{Li}$ , deoarece din variația energiei de legătură per nucleon, în funcție de numărul de masă A, se constată a fi, ca până la aproximativ  $A = 6$ ;  $\Delta W_1/A$  – crescător continuu și care variază mult mai rapid în zona elementelor ușoare, decât în zona elementelor grele și deci energia degajată în procesul de fisiune va fi mult mai mare decât cea din reacțiile de fisiune (ex: 0,85MeV/nucleon la fisiune și 4,95MeV/nucleon la fuziune)
- Pentru exemplificare dăm câteva reacții de sinteză (fuziune) a unor nuclee ușoare și energia eliberată:  
$$\begin{array}{l} {}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 19,8\text{MeV} \\ {}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{p} + 4,02\text{MeV} \\ {}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p} + 18,3\text{MeV} \end{array}$$
$$\begin{array}{l} {}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17,6\text{MeV} \\ {}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 3,25\text{MeV} \end{array}$$
- Pentru a avea loc reacția de fisiune, nucleele ușoare trebuie să se apropie la o distanță mai mică de  $10^{-15}\text{m}$ , distanță la care apar puternic forțele de respingere coulombiană, deci nucleele care se unesc trebuie să aibă o energie cinetică inițială mare, care se poate obține prin creșterea temperaturii la valori mari  $T \approx 5 \cdot 10^9\text{K}$ , de aceea aceste reacții se mai numesc și *reacții termonucleare*.

# Fuziunea nucleară

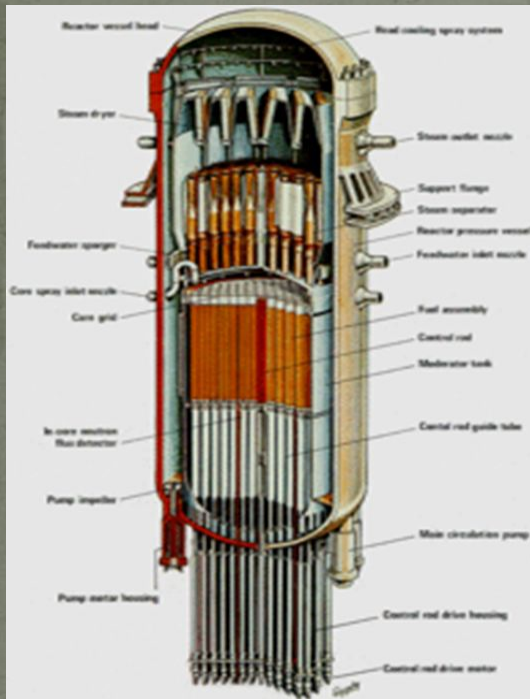
- **Fuziunea nucleară ar putea fi descrisă sumar ca fiind "procesul invers" fisiunii.** În loc de spargerea unui nucleu în fragmente mai mici (cum se întâmplă în cazul fisiunii), aici e vorba despre **unirea a două nuclee mai mici ca să formeze unul mai mare. Astfel, din elemente mai ușoare, se poate forma un element chimic mai greu.**
- Fuziunea nucleară este un proces foarte răspândit în Univers: se petrece permanent în stele, cum este și Soarele nostru. În Soare, nucleele de hidrogen se unesc două câte două, dând naștere heliului și eliberând, cu acest prilej, mari cantități de energie.
- În stele cum este Soarele, masa de hidrogen este atât de mare, încât propria ei gravitație menține hidrogenul și heliul în centru, unde temperaturile ajung la milioane de grade. Elementele există aici într-o stare de agregare denumită plasmă, un fel de gaz în care atomilor le-au fost "smulși" electronii, sub influența temperaturilor foarte mari, rezultând particule ionizate, încărcate electric. (Un exemplu de plasmă este flacăra). În stele, plasma este confinată (menținută într-un spațiu limitat) datorită forței gravitaționale. În asemenea condiții, nucleele de hidrogen fuzionează, rezultând heliu, proces care produce energie, manifestată sub formă de lumină și căldură.
- Cu cât o stea este mai masivă, cu atât crește capacitatea ei de a "fabrica" elemente din ce în ce mai grele (în ordinea în care se înșiră ele în sistemul periodic al elementelor): litiu, apoi carbon... și tot, așa, până la fier. Este procesul numit nucleosinteză stelară. Când sunt implicate elemente mai grele decât fierul, procesul nu mai generează energie, ci absoarbe energie. Elemente mai grele decât fierul nu pot fi generate decât în supernove: exploziile de o amploare colosală ale unor stele extrem de masive, ajunse la sfârșitul vieții lor, eliberează cantități tot colosale de energie, ce poate fi absorbită de nucleele elementelor grele existente, făcând posibilă fuziunea acestora.

# Reactoare nucleare

- **Reactorul nuclear este un sistem în care se autoîntreține reacția în lanț, iar energia eliberată la fisiunea nucleelor poate fi folosită în mod controlat.**
- Primul reactor nuclear a fost construit de Enrico Fermi în anul 1942, în orașul Chicago, iar Kurceatov în 1946 în fosta URSS.
- În clasificarea reactoarelor nucleare avem mai multe criterii:
  - a) **după energia neutronilor**, care produc majoritatea reacțiilor de fisiune, avem reactoare cu: ♦ **neutroni lenți și cu ♦ neutroni rapizi**;
  - b) **după structura zonei active**, avem reactoare: · **omogene** (în care combustibilul nuclear este amestecat cu moderatorul, care este apa, apa grea, grafitul); · **heterogene** (în care combustibilul nuclear este separat de moderator; apare sub formă de bare, iar combustibilul este distribuit în masa moderatorului, formând o rețea geometrică regulată).
  - c) **după concentrația nucleelor  $^{235}_{92}\text{U}$** , avem reactoare: □ □ **cu uraniu slab îmbogățit** (concentrație  $c = 1 - 2\%$ ); □ **uraniu cu îmbogățire medie** ( $c = 5 - 10\%$ ); □ **cu uraniu puternic îmbogățit** ( $c > 50\%$ ).
  - d) **după moderatorul folosit**, avem reactoare cu: ↘ **apă obișnuită**; ↘ **apă grea**; ↘ **beriliu**; ↘ **grafit**; ↘ **unii compuși organici**.
  - e) **după puterea reactoarelor**, aceștia pot fi: □ **de putere zero** (de la 1w la 1kw); □ **de putere medie** (1 – 50kw); □ **de putere mare** (> 100kw).

# Reactorul nuclear

- **Reactorul nuclear este o instalatie in care este initiata o reactie nucleara in lant, controlata si sustinuta la o rata stationara (in opozitie cu o bomba nucleara, in care reactia in lant apare intr-o fractiune de secunda si este complet necontrolata).**
- Reactoarele nucleare sunt folosite pentru numeroase scopuri. Cea mai semnificativa utilizarea curenta este pentru generarea de putere electrica. Reactoarele de cercetare sunt folosite pentru producerea de izotopi si pentru experimente cu neutroni liberi. Din punct de vedere istoric, prima folosire a reactoarelor nucleare a fost producerea plutoniului pentru bomba atomica. O alta utilizare militara este propulsia submarinelor si a vapoarelor (desi aceasta presupune un reactor mult mai mic decat cel folosit intr-o centrala nuclearo-electrica).
- In mod curent, toate reactoarele nucleare comerciale sunt bazate pe fisiunea nucleara si sunt considerate problematice datorita nesigurantei lor si riscurilor asupra sanatatii. Din contra, altii considera centrala nucleara ca fiind o metoda sigura si nepoluanta de generare a electricitatii. Instalatia de fuziune este o tehnologie bazata pe fuziunea nucleara in locul fisiunii nucleare. Exista si alte instalatii in care au loc reactii nucleare intr-o maniera controlata, incluzand generatoarele termoelectrice radioizotope si bateriile atomice, care genereaza caldura si putere exploatand dezintegrarile radioactive pasive, cum ar fi, de exemplu, instalatiile Farnsworth-Hirsch de producere a radiatiilor neutronice



# Principalele aplicatii ale reactoarelor nucleare

- Colectarea si sortarea lor este efectuata de personal calificat, dupa reguli si criterii specificate prin proceduri. Dupa sortare, deseurile radioactive sunt stocate in containere speciale de inox.
- Deseurile radioactive lichide organice sunt pastrate in cladirea serviciilor, urmand sa fie solidificate pentru eliminarea potentialelor pericole de inflamabilitate.
- Unele deseuri solide sunt compactate cu o presa hidraulica pentru reducerea volumului.
- Stocarea deseurilor radioactive solide sau solidificate este asigurata pentru toata perioada de exploatare a centralei in conditii de securitate si pastrare optime. Depozitarea finala a acestor deseuri se va realiza numai dupa conditionarea in matrice solide, sigure, care sa garanteze ca cel putin 300 de ani nu vor avea impact negativ asupra mediului inconjurator.
- Dupa 50 de ani de energetica nucleara intrebarea “cum sa se administreze aceste resturi materiale” se confrunta cu probleme de securitate si tehnice, una din importantele directii de actiuni a criticilor industriei nucleare fiind chiar aceste costuri si riscuri pe termen lung asociate cu managementul deseurilor radioactive.
- Administrarea combustibilului ars poate include variate combinatii de stocare, reprocesare si depozitare finala. In practica, combustibilul ars este stocat in piscine cu apa usoara (normala), de obicei chiar in incinta centralei. Apa asigura racirea combustibilului ars si este un ecran de protectie impotriva radioactivitatii acestuia. Dupa perioada de racire si diminuare a nivelului de radiatii, combustibilul ars este stocat (stocare uscata) fie in containere intermediare de otel si beton monitorizate cu atentie, fie in depozite finale sub forma de puturi adanci sapate in diferite formatiuni geologice.
- Reprocesarea combustibilului ars este atractiva deoarece permite reciclarea combustibilul nuclear si asigura pregatirea deseurilor pentru depozitarea finala. Totusi, experienta Frantei, de exemplu, a aratat ca depozitarea finala este mult mai economica deoarece reprocesarea combustibilului ars conduce la cresterea de 17 ori a cantitatii de deseuri radioactive sub forma lichida.

# Principalele aplicatii ale reactoarelor nucleare

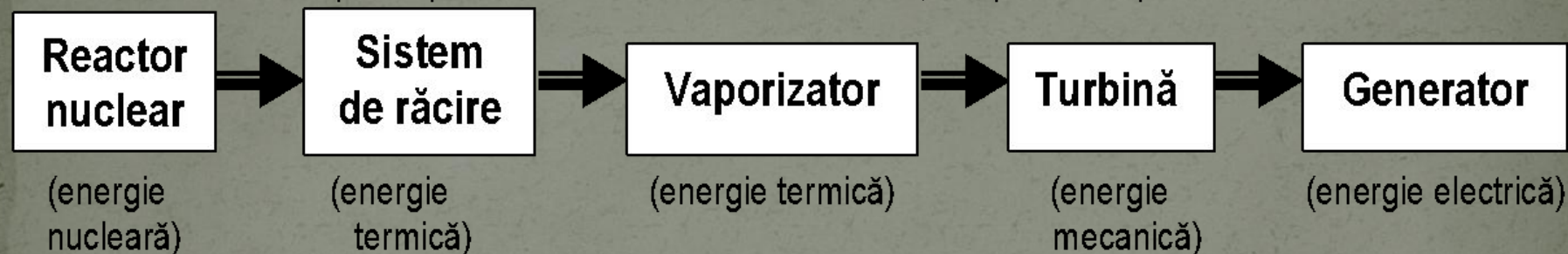
- **In centrale nucleare-electrice:** productie de caldura pentru generare de electricitate; productie de caldura pentru incalzire domestica si industriala; productie de hidrogen; la desalinare.
- **In propulsia nucleara:** pentru propulsie nucleara marina; exista propuneri pentru rachete termonucleare; exista propuneri pentru rachete propulsate prin puls nuclear.
- **In transmutatie de elemente:** la productia de plutoniu, adesea pentru utilizarea in arme nucleare; la obtinerea diversilor izotopi radioactivi, cum ar fi americiu pentru detectorii de fum, respectiv cobalt-60, molibden-99 si altii, folositi in medicina.
- **In cercetare:** pentru asigurarea unei surse de radiatie cu neutroni si pozitroni (cum ar fi pentru Analiza cu activare neutronica si Datarea cu potasiu-argon); pentru dezvoltarea de tehnologii nucleare.
- Centralele nucleare desi ofera energie electrica ieftina, au **o mare problema, deseurile radioactive.**
- **Deseurile radioactive sunt rezultatul activitatilor zilnice de intretinere, reparatii, al opririlor programate sau neprogramate ale centralei si sunt gestionate complet separat de deseurile conventionale.**
- Deseurile radioactive generate in urma acestor activitati sunt:
  - **solide** (plastic, celuloza, sticla, lemn, filtre de purificare, filtre de la sistemele de ventilatie etc.).
  - **lichide organice** (ulei, solvent, lichid scintilator).
  - **amestecuri solide- lichide inflamabile.**



# Centrale nucleare

Centralele nucleare sunt centralele în care se produce energie electrică pe baza energiei nucleare, obținute din reacții nucleare.

Schema de principiu al unei centrale nucleare, se poate reprezenta astfel:



Părți constructive:

⇒ Combustibilul nuclear – substanța fisionabilă formată din bare de uraniu îmbogățit  $^{235}_{92}\text{U}$  sau izotopi artificiali ca  $^{239}_{94}\text{Pu}$ ,  $^{233}_{92}\text{U}$  obținuți în reactoare, ca produse secundare prin captarea de neutroni  $^1_0\text{n}$  de către  $^{238}_{92}\text{U}$  și  $^{232}_{91}\text{Th}$ ; uraniu îmbogățit fisionează mai ușor dar este mai scump decât uraniul natural.

⇒ Moderatorul – este substanța în care neutronii  $^1_0\text{n}$  sunt încetiniți, prin ciocnirile succesive dintre ei și nucleele moderatorului; neutronii încetiniți (lenți sau termici), produc mai ușor fisiunea nucleelor  $^{235}_{92}\text{U}$  și sunt captați mai greu de  $^{238}_{92}\text{U}$ . Au rol de control al reacției de fisiune. Cei mai folosiți moderatori sunt: apa, apa grea, grafitul, beriliu, dar apa grea este cel mai bun moderator, ea absoarbe foarte puțin neutronii, dar produce o încetinire mare a acestora. Reacția în lanț este o reacție exoenergetică, rezultând o cantitate mare de căldură, care este preluată de agentul de răcire.

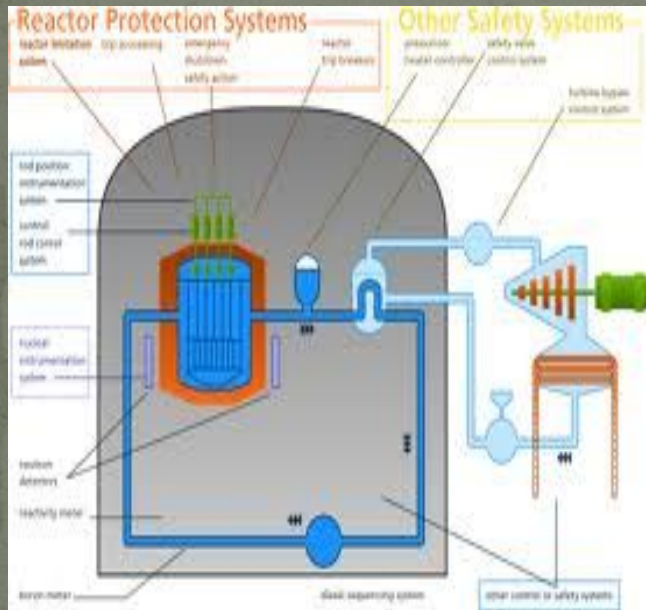
# Centrale nucleare

- □ Agentul / fluidul de răcire – care circulă prin reactor și transportă în exterior energia termică degajată în urma reacției de fisiune. Ca fluid de răcire se folosesc: apa, apa grea, metalele lichide, CO<sub>2</sub>, etc.
- □ Barele de control și barele de securitate – sunt substanțe care absorb neutronii și sunt sub formă de bare de bor sau cadmiu.
- □ Cuvă reactorului – confecționată din oțel sau fontă pentru a absorbi radiațiile emise, iar partea exterioară a reactorului este un zid gros de beton, asigurându-se o bună protecție contra radiațiilor apărute.
- România a fost a 11-a țară din lume, care a instalat în anul 1957 un reactor nuclear cu uraniu îmbogățit (4,5kg) cu 10% <sup>235</sup><sub>92</sub>U sub formă de 16 bare, iar ca moderator, reflectător și agent de răcire se folosea apa distilată. Acest reactor producea izotopii necesari pentru industrie, materialul fisionabil și servea la efectuarea de cercetări științifice în Fizica neutronilor, Fizica solidului și studiul fenomenelor referitoare la tehnica reactoarelor nucleare.

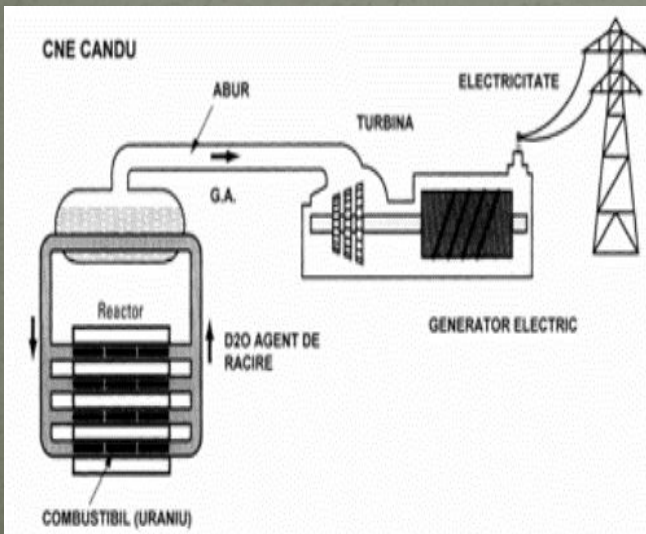
# Centrala Nucleară Electrică de la Cernavodă

- Are o putere de 700Mw, fiind prevăzută cu cinci reactoare de tip CANDU (Canadian Deuterium Uranium), cu moderator apa grea (produsă la ROMAG – Drobeta Turnu Severin) și combustibil uraniu natural. Primul reactor a fost dat în folosință în anul 1996, furnizând 10% din energia electrică a României, iar al doilea reactor este în construcție.
- În condițiile normale de funcționare, prin folosirea unei proiectări și tehnologii moderne, cât și datorită existenței a cinci bariere de protecție, reactoarele CANDU sunt considerate printre cele mai sigure și mai puțin poluante din lume, având un impact minim asupra mediului înconjurător. Deșeurile radioactive vor fi ținute timp de 10 ani în bazine special amenajate în incinta centralei în vederea scăderii radioactivității și a temperaturii, după care vor fi stocate timp de 50 ani într-un depozit intermediar și apoi transferate într-un depozit definitiv. Pentru alegerea locului de depozitare definitivă se efectuează încă studii geologice privind structura solului și seismicitatea.
- Obținerea energiei nucleare se bazează pe reacția de fisiune (descompunere) nucleară în lanț. Instalația care asigură condițiile de obținere și menținere a reacției în lanț este reactorul nuclear. În principiu, reactorul se compune dintr-o parte centrală numită zona activă, în care are loc reacția de fisiune și se dezvoltă căldura de reacție.

# Centrala Nucleară Electrică de la Cernavodă



- **Zona activă** conține combustibilul nuclear alcătuit din izotopi fisionabili (U235, Pu239) și materiale fertile (U238, U232); moderatorul (apa grea), care are rolul de a încetini viteza neutronilor rapizi, astfel că reacția să fie controlabilă; barele de control captează neutronii rezultați din reacția de fisiune; agentul de răcire, care preia căldura dezvoltată în zona activă și o cedează apei în schimbătorul de căldură.
- În schimbătorul de căldură, apa de vaporizează și devine agentul producător de lucru mecanic în turbină. Lucrul mecanic este transformat de generator în energie electrică. Combustibilul, moderatorul și agentul de răcire formează așa numită filieră a reactorului termic care determină caracteristicile specifice centralelor nucleare.



- **Combustibilul** introdus în reactor are forma unor pilule compactate sub formă de bare.
- Între barele de combustibil se găsesc barele de control. Acestea conțin cadmiu (element chimic ce absoarbe neutroni). Ele au rolul de a regla numărul de neutroni ce pot produce noi reacții de fisiune, astfel încât puterea produsă de reactor să rămână constantă în timp.
- Pentru menținerea reacției în lanț, în unele tipuri de reactoare, neutronii emiși în reacțiile de fisiune trebuie încetiniți. În timpul frânării neutronilor are loc un transfer de energie de la aceștia la moderator, temperatura moderatorului și a combustibilului marindu-se.
- Controlul reactoarelor nucleare se face computerizat (inclusiv al sistemelor utilizate pentru protecția reactorului și a mediului înconjurător).  
Centralele nucleare au între 1 și 8 reactoare (unități), fiecare cu o putere instalată de cel puțin 600 MW.
- **Centrala de la Cernavodă** se bazează pe sistemul canadian CANDU și are o putere instalată de 706 MW în prezent. Structura unui reactor CANDU constă într-un recipient cilindric orizontal, cu tuburi pentru barele de combustibil și pentru lichidul de răcire (apa grea) plasate orizontal.
- Numele tipului de reactor, **CANDU (CAN**ada **D**euterium **U**ranium), rezumă trei din caracteristicile principale ale reactorului: proiectul este canadian, folosește apa grea ca moderator, iar combustibilul utilizat este uraniul natural.
- **Agentul de răcire** este pompat prin canalele de combustibil, răcind combustibilul și apoi, prin generatoarele de abur unde căldura este transferată apei (ușoare) pentru producerea aburului.  
Aburul este trimis la turbo – generator pentru a produce energie electrică într-un mod convențional.

- Reactorul este format dintr-un ansamblu cilindric din oțel – inox (**calandria**) plasat într-o structură de beton placat cu oțel (chesonul calandriei) care asigură protecția termică și răcirea. Calandria conține apa grea ca moderator, mecanisme de control al reactivității și 380 canale de combustibil. Canalele de combustibil care conțin combustibil și apa grea folosită ca agent de răcire, sunt amplasate în tuburi mai mari în calandria.
- Calandria este susținută de protecții de capăt între zona activă a reactorului și zona de funcționare a mașinii de încărcat combustibil. Reactorul este încărcat cu uraniu natural sub formă de pastile de bioxid de uraniu. Treizeci de pastile puse cap la cap sunt conținute într-o teacă din aliaj de zirconiu (Zircaloy) formând un element combustibil. Treizeci și șapte de asemenea elemente sunt asamblate într-un fascicul de combustibil care cântărește 23,7 kg. Fiecare canal de combustibil conține doisprezece fascicule de combustibil.
- **Sistemul de reglare** al reactorului controlează puterea reactorului în limitele specifice și asigură că sunt îndeplinite cerințele centralei; de asemenea monitorizează distribuția puterii în zona activă pentru a optimiza puterea pe fascicul și pe canal conform specificațiilor de proiect.
- **Sistemul de manipulare a combustibilului** realimentează reactorul cu fascicule de combustibil proaspăt în timpul funcționării normale a reactorului; acest sistem este proiectat să funcționeze la toate nivelele de putere a reactorului. De asemenea, sistemul asigură depozitarea temporară a combustibilului proaspăt și iradiat.

- Fascicululele de combustibil sunt împinse în canalul reactorului de către o mașină de încărcat combustibil, acționată de la distanță. Fasciculele de combustibil iradiat sunt descărcate în același timp de o altă mașină de combustibil, situată la capătul opus al canalului de combustibil. Combustibilul iradiat este apoi transferat într-un bazin de stocare plin cu apă aflat în clădirea serviciilor, lângă clădirea reactorului
- Prin **sistemul de transport al căldurii** circulă agentul de răcire presurizat ( $D_2O$ ) prin canalele de combustibil pentru a extrage căldura produsă prin fisiunea uraniului. Căldura este transportată de către agentul de răcire la cele patru generatoare de abur identice.
- Sunt prevăzute două bucle de circulație, fiecare răcind câte o jumătate din zona activă. *Generatorul de abur* și pompele de circulație sunt plasate la fiecare capăt al reactorului astfel încât în jumătate din zona activă, debitul este direcționat într-un sens iar în cealaltă jumătate, în sens opus. Presurizorul menține presiunea în circuitul de răcire la o valoare relativ ridicată. Fluidul de răcire este circulat în permanență în timpul funcționării reactorului, pe durata opririi și în perioada de întreținere.
- Neutronii produși prin reacția de fisiune sunt moderați (încetiniți) de apa grea ( $D_2O$ ) din calandria. Apa grea este circulată prin sistemul moderator pentru răcire, purificare și controlul substanțelor folosite pentru reglarea reactivității. Apa grea din calandria acționează ca o sursă rece într-un eveniment de pierdere a agentului de răcire, fapt ce ar coincide cu indisponibilitatea sistemului de răcire la avarie a zonei active.
- **Sistemul generator de abur** transferă căldura din apa grea ( $D_2O$ ) folosită ca agent de răcire, apei ușoare ( $H_2O$ ) pentru formarea aburului, care duce la turbo – generator. Sistemul generator de apă de alimentare procesează aburul condensat venit de la turbină și îl trimite la turbo – generator.

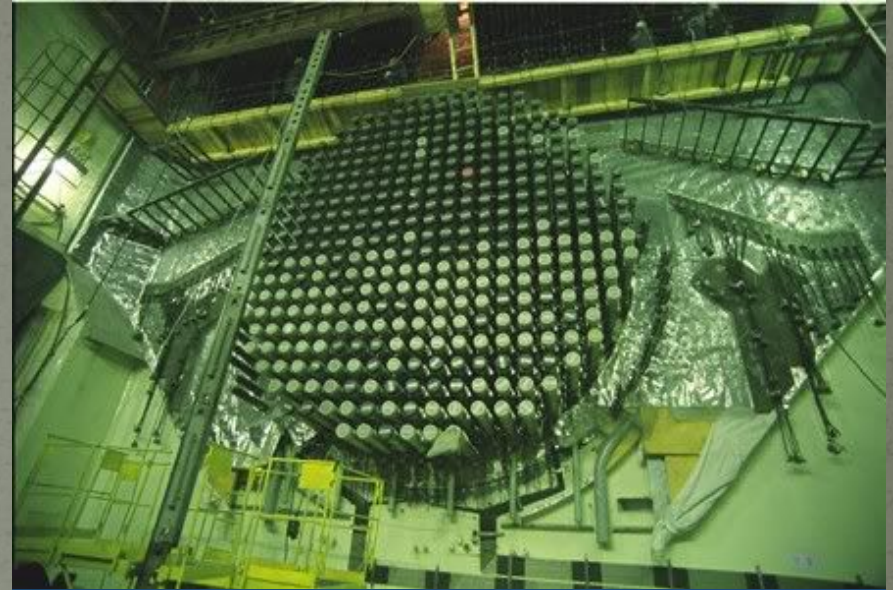
# Securitatea centralelor nucleare electrice

- În regim de funcționare normală, cantitățile de substanțe radioactive eliberate de centrala nucleară sunt nesemnificative. Pericolul specific, pentru populație și mediul ambiant, constă în eliberarea necontrolată de substanțe radioactive. Sistemele tehnice de securitate sunt destinate să limiteze distrugerile zonei active a reactorului.
- De la descoperirea fisiunii nucleare, populația a fost saturată cu povestiri alarmante și cu exagerări despre energia nucleară. S-a emis astfel ipoteza că orice reactor poate exploda oricând ca o bombă nucleară.
- În principiu, nici un reactor nuclear nu poate exploda ca o bombă. Sunt însă posibile accidente în care reactoarele să se supraîncălzească, iar componentele lor, depinzând de materialele din care sunt realizate, să se topească sau să ardă. Creșterea presiunii agentului de răcire poate deveni cauza unor explozii “mecanice” care ar deteriora învelișul reactorului sau al sistemului de răcire. Astfel, pot fi împrăștiate în spațiu materiale radioactive, care să contamineze mediul înconjurător. Centralele nucleare actuale sunt proiectate astfel încât probabilitatea unor accidente de acest tip să fie minimă.
- Toate reactoarele nucleare moderne sunt închise în containere extrem de sigure. Acestea sunt proiectate astfel încât să prevină orice scurgeri radioactive care ar putea rezulta în urma unor accidente de operare.



# Securitatea centralelor nucleare electrice

- Centralele nucleare sunt astfel proiectate încât să cuprindă sisteme care să prevină producerea accidentelor nucleare. Acestea sunt dispuse “în linie”, astfel încât, dacă un sistem de protecție se defectează, un altul să îi ia locul și așa mai departe. Desigur, este posibil ca toate sistemele din “linia” de protecție să cadă unul după celălalt, dar probabilitatea producerii unui astfel de eveniment este extrem de mică.



# Centrale electrice

- La ora actuală, în lume există 439 de centrale nucleare, iar la nivel mondial, energia nucleară reprezintă 6% din energia produsă; aceasta este o cifră medie, dar procentele diferă de la țară la țară. În Franța, de exemplu, 77% din producția de energie provine din centralele nucleare, în vreme ce în țări ca Mexic, India și Pakistan, sub 4% din producția de energie este de origine nucleară. În România, cifra este de 18,98%, conform datelor furnizate de Agenția Internațională pentru Energie Atomică (IAEA).
- Energia nucleară produsă prin metoda fisiunii este, la ora actuală, subiectul unor dezbateri aprinse. Susținătorii ei, printre care se numără (IAEA) și World Nuclear Association, afirmă că energia atomică este o energie sustenabilă și care implică emisii mai scăzute de dioxid de carbon, comparativ cu termocentralele pe cărbuni, ce furnizează o parte importantă a energiei astăzi.
- În schimb, adversarii energiei atomice - precum Nuclear Information and Resource Service (NIRS) și numeroase organizații ecologiste, ca Greenpeace - combat vehement ideea utilizării acestei surse de energie, considerând că implică pericole grave la adresa oamenilor și a mediului. Ca întodeauna, povestea e cu dus și-ntors.
- Marele interes al producerii de energie prin metoda fisiunii nucleare stă în eficiența acesteia: cantitățile enorme de energie rezultate din fisiunea unor cantități relativ mici de combustibil nuclear determină un randament ridicat al conversiei. Dar, cum nimic nu vine doar cu avantaje, producerea de energie nucleară prin fisiune are riscurile ei, legate de implicarea în proces a materialelor radioactive: acestea emit radiații care au efecte grave asupra organismelor vii. Iar aceste radiații pot interveni în viața noastră în mai multe moduri.

# Centrale electrice

- În schimb, catastrofa recentă de la Fukushima Daiichi (2011) a speriat serios câteva țări și va duce, după estimările Agenției Internaționale pentru Energie, la o încetinire considerabilă a dezvoltării industriei atomice, reducând la jumătate capacitățile de generare a energiei nucleare ce se preconiza a fi construite până în 2035.
- Dacă China, care la ora actuală obține din surse nucleare mai puțin de 2% din totalul energiei produse, are de gând să investească masiv în industria atomică, având în construcție nu mai puțin de 25 de centrale de acest tip (și multe altele în faza de proiect), în schimb, alte țări au decis să pună pe primul plan siguranța, renunțând la energia nucleară.
- În urma unui referendum național, Italia a decis să interzică producția de energie nucleară pe teritoriul său.
- Germania a planificat închiderea tuturor centralelor sale atomice până în 2022.
- Un al doilea tip de risc de iradiere este legat de existența deșeurilor nucleare: centralele atomice produc deșeuri cu un înalt potențial radioactiv, a căror depozitare pune probleme dificile. Ele trebuie păstrate în condiții speciale, înconjurate de învelișuri groase de beton și plumb care să blocheze radiațiile, până când, prin procesul de dezintegrare radioactivă, elementele radioactive se transformă, cu timpul, în alte elemente chimice, inofensive. Dar "cu timpul" poate însemna "în mii de ani".
- Totuși, nevoile de energie ale lumii cresc mereu, sub presiunea expansiunii populației și a creșterii nivelului ei de trai.
- Aici intră în scenă fuziunea nucleară. Adică ar intra, dacă am reuși să o realizăm aici, la noi, pe Pământ.

# Hiroshima si Nagasaki

- Totul a inceput cu Proiectul Manhattan. Acesta a fost proiectul de dezvoltare a primei arme nucleare (bomba atomica) in timpul Celui de-Al Doilea Razboi Mondial de catre Statele Unite ale Americii, Regatul Unit si Canada.
- Cercetarea stiintifica a fost condusa de fizicianul american J. Robert Oppenheimer.
- Proiectul a avut succes in dezvoltarea si detonarea a trei arme nucleare in 1945: o detonare de test a unei bombe cu implozie cu plutoniu pe 16 iulie (testul Trinity) langa Alamogordo, New Mexico; o bomba cu uraniu imbogatit denumita "Little Boy" pe 6 august deasupra orasului Hiroshima, Japonia; si o a doua bomba cu plutoniu, denumita "Fat Man" pe 9 august deasupra orasului Nagasaki, Japonia.
- Radacinile proiectului s-au aflat in temerile oamenilor de stiinta ai anilor 1930. Germania Nazista investiga ea insasi posibilitatea producerii armelor nucleare. Nascut dintr-un mic program de cercetare in 1939, Proiectul Manhattan a ajuns sa angreneze peste 130 000 de oameni si sa coste aproape 2 miliarde de dolari (23 miliarde, la nivelul din 2007 al dolarului). A avut ca rezultat crearea multor puncte de productie si cercetare care au operat in secret.
- Arma nucleara, numita si bomba atomica, este o arma tehnicizata extrem de distrugatoare care se bazeaza pe energia eliberata prin urmatoarele procese fizice:
  - - la prima generatie de bombe nucleare: prin fisiune nucleara;
  - - la a doua generatie (bomba cu hidrogen): prin fisiune, urmata de fuziune nucleara.
- Dupa cum multi oameni stiu, bombele atomice au fost folosite doar de doua ori in timpul celui de al doilea razboi mondial.

# Hiroshima si Nagasaki

- Pe 6 august 1945, avionul de tip B-29 “Enola Gay”, a lansat o bomba atomica baza de uraniu cantarind patru tone si jumatate, poreclita “Little Boy”, asupra orasului Hiroshima. Podul Aioi, unul dintre cele 81 de poduri care leaga delta raului Ota a fost tinta acestei bombe. Era asteptat ca ciuperca atomica sa se inalte la 600 de metri deasupra solului. La ora 08 si 15 minute, bomba a fost lansata de pe Enola Gay. A ratat tinta cu numai 260 de metri. La ora 8 si 16 minute, intr-o clipa, 66 000 de oameni au fost omorati si 69 000 au fost raniti intr-o explozie atomica de 10 kilotone. Punctul de vaporizare totala a masurat 1 km in diametru. Distrugerea totala s-a produs intr-o zona cu diametrul de 1,8 km. Pagube importante au fost provocate pe o zona cu diametrul de 3,5 km, la 4 km departare, tot ce era flamabil a ars.
- In zona de impact, temperatura mediului a egalat-o pe cea a soarelui. De obicei temperatura urca treptat, atinge un punct maxim si apoi scade treptat. Dar aici temperatura a atins punctul culminant intr-o fractiune de secunda, transformandu-se intr-o sfera de foc de ordinul a milioane de grade. Cei aflati sub punctul 0 s-au descompus, impregnandu-se in pietre. Tiglele acoperisurilor s-au topit pe o raza de 500 de metri de la punctul zero. Primarul orasului Kabe, situat la 16 km de Hiroshima, avazut fulgerul si a simtit caldura. La Academia Navala Japoneza de pe insula Eta Jima, situata la aproape 100 de km S-E de Hiroshima, elevii aflati in salile de curs au auzit un sunet de joasa tonalitate si au simtit adierea unui vant neobisnuit de cald prin ferestrele deschise. Cei care lansasera bomba erau la randul lor ingroziti de parjolul pe care il provocasera. “Era o viziune infricosatoare, o masa clocotitoare de fum gri-purpuriu si care avea un miez rosu” a declarat la sfarsit unul dintre piloti. De-abia dupa 12 ore de la cataclism, spre seara s-a putut intra in prima retorta in care avusese loc o reactie urmata de moartea atomica.

# Hiroshima si Nagasaki

- Pe 9 august 1945, Nagasaki a avut parte de acelasi tratament ca si Hiroshima. De aceasta data, o bomba pe baza de plutoniu, poreclita "Fat Man" a fost aruncata asupra orasului. Cu toate ca bomba a avut o deviatie de aproape 2 km, totusi a distrus mai mult de jumatate din oras.
- Populatia orasului Nagasaki a scazut intr-o sutime de secunda de la 422 000 de locuitori la 383 000. Au fost omorati 39 000 de oameni si au fost peste 25 000 raniti. Aceasta explozie a avut mai putin de 10 kilotone.
- Estimările fizicienilor care au studiat fiecare explozie sustin ca a fost folosita doar o miime din puterea exploziva a acestor bombe. In timp ce insasi explozia unei bombe atomice este destul de letala, puterea ei distructiva nu se opreste aici. Radiatiile atomice creeaza un alt pericol de asemenea. Ploaia care urmeaza oricarei detonari atomice este incarcata cu particule radioactive. Multi supravietuitori ai exploziilor din Hiroshima si Nagasaki au murit in urma otravirii produsa de ploaia radioactiva.

- In prezent, singurele tari recunoscute oficial ca puteri nucleare sunt Statele Unite ale Americii, Rusia, Marea Britanie, Franta, China, India si Pakistan. Rusia a mostenit armele de la Uniunea Sovietica.
- Este posibil ca si alte tari sa detina arme nucleare, dar ori nu au recunoscut aceasta in public, ori posesia lor nu este confirmata.
- **Israelul** are sisteme de aeropurtare moderne si pare sa aiba si un program nuclear extensiv;
- **Coreea de Nord** a declarat ca are capabilitati nucleare (desi a facut cateva declaratii schimbatoare in legatura cu parasirea programului sau de armament nuclear, de multe ori in functie de clima politica din acel moment), dar nu a realizat un test confirmat; de aceea statutul armelor sale raman neclar.
- **Iranul** este acuzat la momentul de fata (2008) de catre un numar de guverne ca ar vrea sa dezvolte capabilitati nucleare; guvernul iranian spune insa ca activitatile sale nucleare, cum ar fi imbogatirea uraniului, urmaresc numai scopuri pasnice.
- Cea mai puternica arma nucleara detonata, pana in prezent, este **Bomba Tsar**. Bomba Tsar este numele dat de Occident celei mai mari bombe atomice construite vreodata. A fost o bomba cu hidrogen, fabricata de Uniunea Sovietica sub numele oficial de RDS-220, numele de cod fiind Ivan. Proiectul initial prevedea o putere echivalenta de 100 megatone TNT, redusa mai apoi la 50 Mt, pentru limitarea contaminarii radioactive.

- A fost detonata la 30 octombrie 1961, in arhipelagul Novaia Zemlia. Scopul ei a fost doar demonstrarea capacitatii tehnologiilor militare ale URSS; s-a construit un singur exemplar, cea detonata, iar o macheta se afla in prezent la Muzeul armelor nucleare rusesti din Saratov. Bomba avea masa de 27t, si era de forma unui cilindru lung de 8 m, cu 2 m diametru. Este una din cele mai “curate” bombe atomice create vreodata, 97% din energia ei fiind data de reactia de fuziune nucleara (care nu produce reziduuri radioactive).
- Bomba a fost lansata dintr-un avion Tu-95V modificat, acoperit cu o vopsea speciala reflectorizanta, care a decolat din peninsula Kola. A fost lansata de la altitudinea de 10500m, si detonata la 4000m deasupra solului. Pentru a-i incetini caderea s-a folosit o parasuta de 800kg, dand astfel timp avionului sa se indeparteze suficient. A explodat la 11:32 AM ora Moscovei (30 octombrie 1961), deasupra poligonului atomic Mityushikha. Ciuperca atomica s-a ridicat la 60km inaltime. Explozia a putut fi vazuta si simtita pana in Finlanda, spargand si geamuri. Unde de soc atmosferice s-au propagat pana la 1000km. Oamenii care s-ar fi aflat la mai putin de 100km ar fi suferit arsuri de gradul 3. Socul seismic a masurat 5'5,25 grade pe scara Richter. Puterea degajata in cele 39 nanosecunde ale exploziei a fost de  $5,4 \times 10^{24}$  watt (5,4 yottawatt), aproximativ 1,4% din puterea Soarelui.
- <http://www.descopera.org/energia-nucleara-aplicatii-si-implicatii/>



# Submarine nucleare

- O revolutie in constructia de submarine a avut loc in 1955. Flota Militara SUA a lansat USS **Nautilus** – primul submarin cu propulsie nucleara. Actionat de o bucata de uraniu, de marimea unei mingi de golf, intr-un reactor nuclear. Nautilus putea parcurge peste 110000 km in doi ani, fara a trebui realimentat.
- Reactorul unui submarin nuclear produce caldura prin fisiunea nucleelor. Prin acest proces se divid nucleeele atomice, eliberand cantitati mari de caldura. Un lichid de racire extrage caldura din reactor si o transfera la apa dintr-un boiler. Apa fierbe, generand aburi, trecuti apoi in turbinele de propulsie principale si in turbine legate la generatoare electrice. Caldura transforma apa in aburi. Apoi, aburii rotesc turbinele care actioneaza elicele.
- Submarinele cu propulsie nucleara sunt foarte costisitoare si doar flotele militare ale celor mai bogate tari si le pot permite. Ele sunt de doua tipuri.
- Submarinele nucleaare vanatoare-distrugetoare, cunoscute ca SSN-uri, se folosesc la urmarirea si la distrugerea navelor si a submarinelor inamice.
- Submarinele balistice, care sunt cele mai mari submarine cu propulsie nucleara sunt cele concepute pentru aruncarea proiectilelor balistice cu raza mare de actiune, purtand focoase nucleare.

# Bibliografie

1. Ioan Ursu – Fizică Atomică
2. Manualele de Fizică – clasa a VIII-a, aflate în vigoare
3. Bibliografia: Enciclopedia Encarta Arborele Lumii
4. Internet: [www.ne.doe.gov](http://www.ne.doe.gov)
5. <http://scrapetv.com/News/News%20Pa>
6. [ges/usa/pages-5/Rise-in-irradiated-freaks-forces-shutdown-of-radioactive-water-wells-Scrape-TV-The-World-on-your-side.html](http://scrapetv.com/usa/pages-5/Rise-in-irradiated-freaks-forces-shutdown-of-radioactive-water-wells-Scrape-TV-The-World-on-your-side.html)
7. <http://www.cne.ro/m.aspx?id=77&it=3&p=2>
8. <http://www.nucleu.ro/>
9. <http://www.scribube.com/geografie/ecologie/ACCIDENTE-NUCLEARE1519101211.php>
10. [http://www.newspad.ro/Cum-functioneaza-o-centrala-nucleara\\_396154.html](http://www.newspad.ro/Cum-functioneaza-o-centrala-nucleara_396154.html)
11. Wikipedia.com
- 12.