

Energetica nucleară

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;
- ☼ nucleare-electrice – în care se transformă energia rezultată din reacțiile nucleare.

Centrala nucleară (CN)



Energia necesară în aceste centrale se obține în urma reacțiilor nucleare.

Reacții nucleare – sunt transformările suferite de nucleeele atomilor unor substanțe, când sunt bombardate cu particule α , β și neutroni.

a) dacă energia de reacție $Q < 0$, avem *reacții endoenergetice*, care se petrec numai cu absorbția unei părți din energia cinetică a particulelor incidente.

b) dacă energia de reacție $Q > 0$, avem *reacții exoenergetice*, în care se eliberează energie nucleară sub formă de energie cinetică, se mai numesc și reacții exoterme, deoarece se eliberează energie și sub formă de căldură.

Într-o reacție nucleară numărul de nucleoni care intră în reacție, este egal cu numărul de nucleoni rezultați din reacție.

Exemple: bombardarea nucleului de azot cu o particulă α :

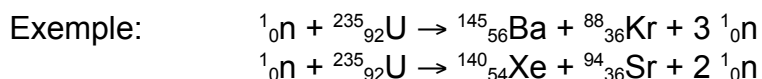
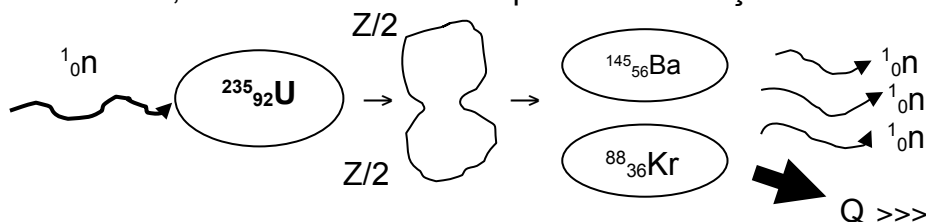
$^{14}_7\text{N} + ^4_2\alpha \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ^1_1\text{H}$ unde $^1_1\text{H} \equiv ^1_1\text{p}$, deci rezultă un izotop al oxigenului și un proton, iar reacția se numește *transmutație nucleară*.

$^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p} \rightarrow 2\ ^4_2\alpha + Q$ 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_0n este un neutron care se transmută.

Fisiunea nucleară

În 1934 Enrico Fermi a studiat reacții pe nucleee grele, la bombardarea acestora cu neutroni, observând că la bombardarea uraniului apar mulți produși derivați emițători β^- radioactivi. În experiențele lor Joliot Curie și Savitch, stimulați de Fermi au găsit printre produșii derivați un element β^- 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 β^- 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 lenți nucleul de uraniu se scindează în două fragmente, aproximativ egale ca mărime, eliberându-se în acest proces căldură și neutroni.



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 excitare 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}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 200MeV ; deci $1\text{kg } ^{235}_{92}\text{U}$ produce prin fisiune $8 \cdot 10^{13}\text{J}$, energie care este echivalentă cu arderea a 2500tone 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.

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.



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.

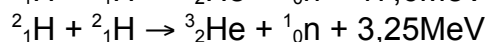
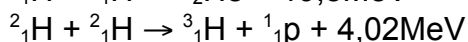
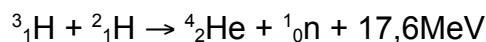
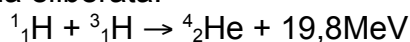
Fuziunea nucleară

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_1H , ^2_1D , ^3_1T , ^3_2He , ^7_3Li , 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:



Pentru a avea loc reacția de fisiune, nucleele ușoare trebuie să se apropie la o distanță mai mică de 10^{-15}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*.

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 Kurchatov în 1946 în fosta URSS.

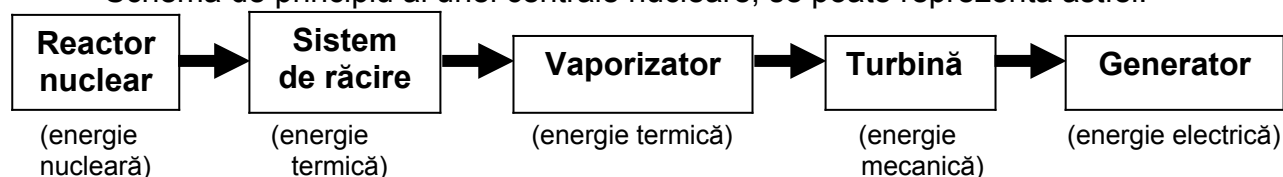
În clasificarea reactoarelor nucleare avem mai multe criterii:

- după energia neutronilor, care produc majoritatea reacțiilor de fisiune, avem reactoare cu: ♦ neutroni lenți și cu ♦ neutroni rapizi;
- 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.
- 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 ($c > 50\%$).
- după moderatorul folosit, avem reactoare cu: ↘ apă obișnuită; ↘ apă grea; ↘ beriliu; ↘ grafit; ↘ unii compuși organici.
- după puterea reactoarelor, aceștia pot fi: ⇨ de putere zero (de la 1w la 1kw); ⇨ de putere medie (1 – 50kw); ⇨ de putere mare ($> 100\text{kw}$).

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_0n 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_0n 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.

⇒ 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_2 , etc.

⇒ Barele de control și barele de securitate – sunt substanțe care absorb neutronii și sunt sub formă de bare de bor sau cadmiu.

⇒ Cuva 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% $^{235}_{92}\text{U}$ 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 – având 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.