

NOȚIUNI INTRODUCTIVE

CONSIDERAȚII GENERALE

Generalități privind energia

Energia este o formă de manifestare a materiei în mișcare, a cărei definiție larg răspândită este următoarea: *energia unui sistem este capacitatea acestuia de a efectua lucru mecanic, la trecerea dintr-o stare existentă într-o stare de referință.*

Energia, este definită în Dicționarul Explicativ al Limbii Române, în literatura de specialitate din țară și din străinătate, ca și pe numeroase site-uri web, în diverse limbi de circulație internațională, ca fiind *capacitatea unui sistem fizic de a produce lucru mecanic.*

Uneori se menționează în definiția energiei și *capacitatea unui sistem fizic de a produce căldură.*

Aceste definiții se referă numai la producerea sau transformarea *lucrului mecanic* sau *căldurii*, însă acestea reprezintă doar două din *numeroasele forme de energie* existente.

Noțiunea de energie este mult mai complexă, fiind evident, asociată și cu alte sisteme în afară de cele fizice și anume sisteme biologice, chimice, etc.

Unele mențiuni din literatura tehnică de specialitate, consideră că *energia este implicată în toate procesele care presupun orice fel de schimbare sau transformare*, fiind responsabilă de producerea acestor schimbări sau modificări.

Se poate considera chiar că *materia în sine, reprezintă o formă “condensată” de energie*, iar această energie este înmagazinată în atomii și moleculele din care este alcătuită materia.

Legătura dintre cele două forme de manifestare, energia și materia, este reprezentată de celebra ecuație a lui Albert Einstein:

$$E = m \cdot c^2$$

unde:

- E este energia;
- M este masa;
- c este viteza luminii.

Această relație duce cu gândul inclusiv la începutul universului și cel puțin la un nivel empiric, poate explica inclusiv apariția materiei în univers, în urma exploziei originare (denumită “Big Bang”), în urma căreia o enormă cantitate de energie s-a transformat în materie.

Este demonstrat că prin diverse procedee, cantitatea uriașă de energie, conținută la nivelul atomilor (în special al nucleelor), poate fi eliberată și utilizată în diverse scopuri, iar în urma desfășurării acestor procese, materia utilizată ca “*sursă de energie*”, suferă transformări considerabile.

Două dintre cele mai reprezentative exemple ale acestor genuri de transformări sunt producerea energiei prin *fisiune nucleară (ruperea nucleelor unor elemente)*, respectiv prin *fuziune nucleară (recombinarea - unirea nucleelor unor elemente)*.

Ambele procese sunt însoțite de transformări ale materiei în cantități uriașe de energie, în contextul în care cantitatea de substanță nu se conservă în aceste procese.

Fuziunea este chiar sursa de energie a stelelor din categoria cărora face parte și Soarele.

Atât *fisiunea* cât și *fuziunea* sunt caracterizate prin ruperea unor tipuri de legături, existente inițial la nivelul nucleelor și refacerea unor alte tipuri de legături, la nivelul noilor nuclee formate în urma acestor reacții (proces).

Se menționează că fierul (Fe) și nichelul (Ni) sunt elementele chimice care prezintă cele mai mari energii de rupere a nucleului. Altfel spus, pentru aceste două elemente trebuie consumată cea mai mare cantitate de energie pentru ruperea nucleului. Nucleele tuturor celorlalte elemente se “rup” mai ușor. (https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion)

Fisiunea nucleară este fie o reacție nucleară, fie un proces de dezintegrare radioactivă, în urma căruia *nucleul atomic se divide în nuclee mai ușoare*.

De regulă, prin fisiunea (ruperea / dezintegrarea) nucleelor mai grele decât fierul se degajă mai multă energie decât este necesară pentru menținerea coeziunii nucleelor nou formate (mai ușoare). În consecință, prin fisiunea nucleelor “grele”, se poate obține energie.

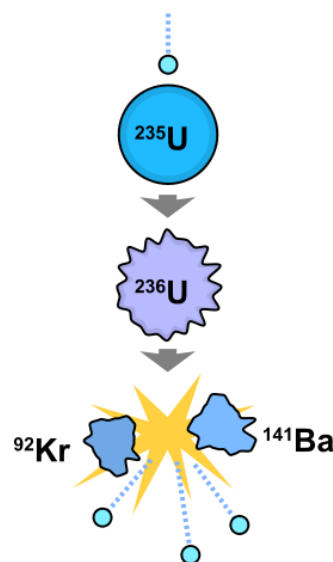
Observație: Pentru fisiunea (ruperea / dezintegrarea) nucleelor mai ușoare decât fierul, în vederea menținerii coeziunii nucleelor nou formate, este necesară mai multă energie decât se poate elibera prin “ruperea” nucleului existent inițial. În consecință, pentru realizarea fisiunii nucleelor ușoare, este necesar aport energetic din exterior.

De regulă, în urma fisiunii se obțin nuclee cu masă apropiată, raportul dintre masele nucleelor formate prin fisiune fiind de maxim 2 sau 3.

Fisiunea nucleară a elementelor grele, a fost descoperită în 1938 de Lise Meitner, Otto Hahn, Fritz Strassmann și Otto Robert Frisch.

Fisiunea modernă, produsă artificial, este de regulă inițiată cu ajutorul unui neutron care este “înglobat” într-un nucleu și perturbă echilibrul acestuia.

În figura alăturată este prezentată o schemă a reacției de fisiune indusă a uraniului, reacție utilizată în centralele nucleare electrice.



Schema reacției de fisiune indusă a uraniului în kripton și bariu

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

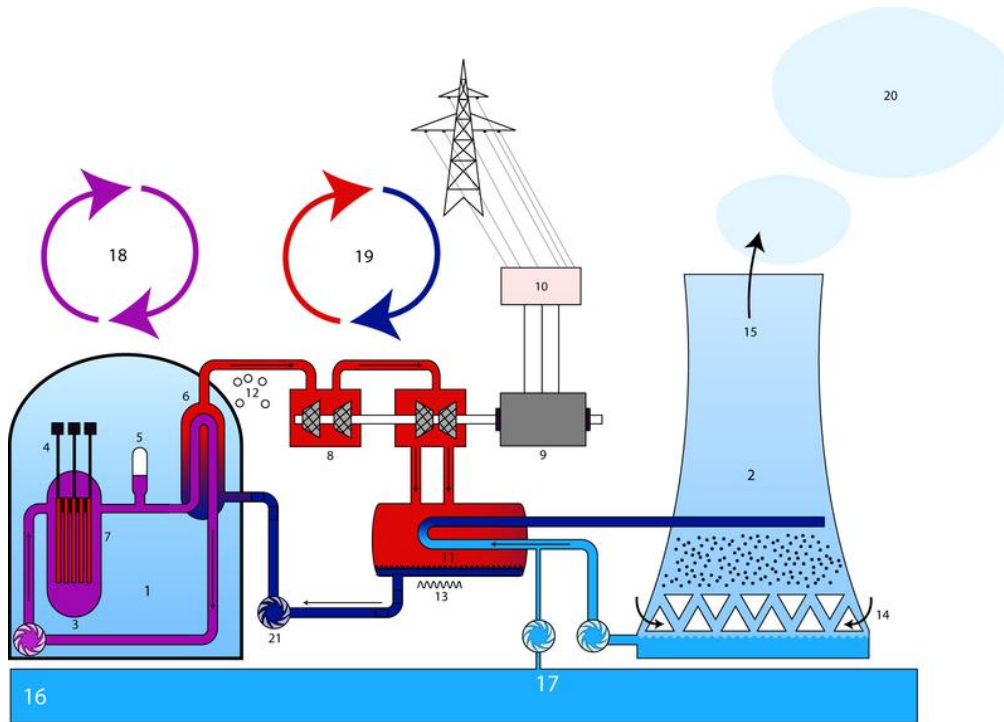
Comentarii:

- Energia cinetică a neutronului absorbit de nucleul de U^{235} , determină formarea nucleului de U^{236} care este instabil și se fragmentează (fisionează) în Kr^{92} și Ba^{141} .
- În urma reacției, pe lângă Kr^{92} și Ba^{141} , se obțin și 3 (trei) neutroni, radiație Γ (gama) (nereprezentată pe figură) și o cantitate foarte mare de energie.
- În locul uraniului, se pot utiliza ca și combustibil și diverși izotopi de plutoniu.
- Prezența emisiei de radiație gama, impune protejarea reactorului nuclear împotriva emisiei radiațiilor de acest tip, având în vedere că acestea sunt dăunătoare vieții.

Cele mai importante aplicații ale fisiunii sunt:

- Producerea de energie electrică (în centrale nucleare electrice);
- Propulsarea navelor și submarinelor.

În figura alăturată este prezentată schema unei centrale nucleare electrice.



Schema de principiu a unei centrale nucleare electrice

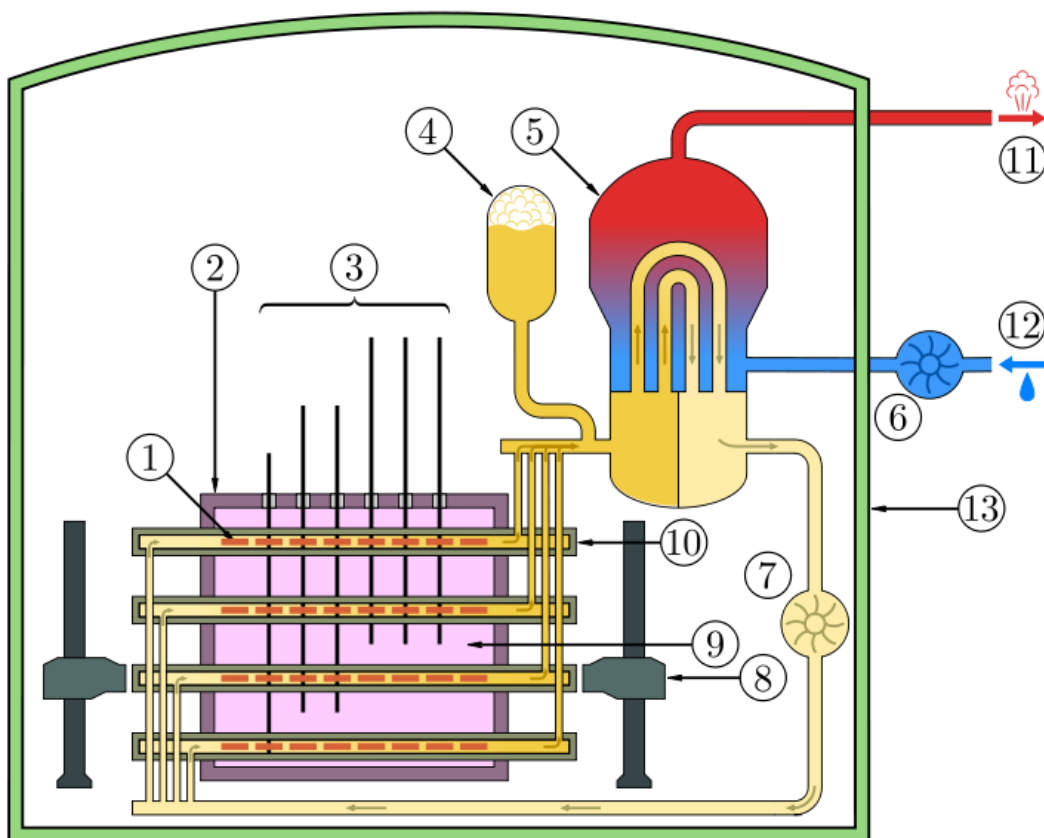
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nuclear_power_plant-pressurized_water_reactor-PWR.png

- 1 - Blocul reactorului; 2 - Turnul de răcire; 3 - Reactor; 4 - Bare de control (cu rol de inhibare a fisiunii);
 5 - Rezervor presurizat pt. agentul primar de răcire
 (presiunea ridicată de lucru împiedică fierberea / vaporizarea agentului de răcire);
 6 - Generatorul de abur; 7 - Bare combustibil; 8 - Turbine; 9 - Generator electric;
 10 - Transformator de înaltă tensiune; 11 - Condensator; 12 - Abur; 13 - Condens (lichid); 14 - Aer de răcire;
 15 - Aer cald cu umiditate ridicată; 16 - Sursă de apă (râu, fluviu); 17 - Priză de apă de răcire;
 18 - Circuitul primar (apă grea D_2O în cazul utilizării uraniului natural / neîmbogățit ca și combustibil);
 19 - Circuitul secundar (apă H_2O); 20 - Vapori de apă evacuați în aer; 21 - Pompă de recirculare

Centrala nucleară electrică de la Cernavodă a fost proiectată cu 5 (cinci) reactoare, dintre care în prezent funcționează numai 2 (două), fiecare având o putere netă de ≈ 655 MW, respectiv o capacitate totală de 706 MW (http://ro.wikipedia.org/wiki/CNE_Cernavodă). În prezent această centrală asigură cca. 18% din necesarul de energie electrică al României.

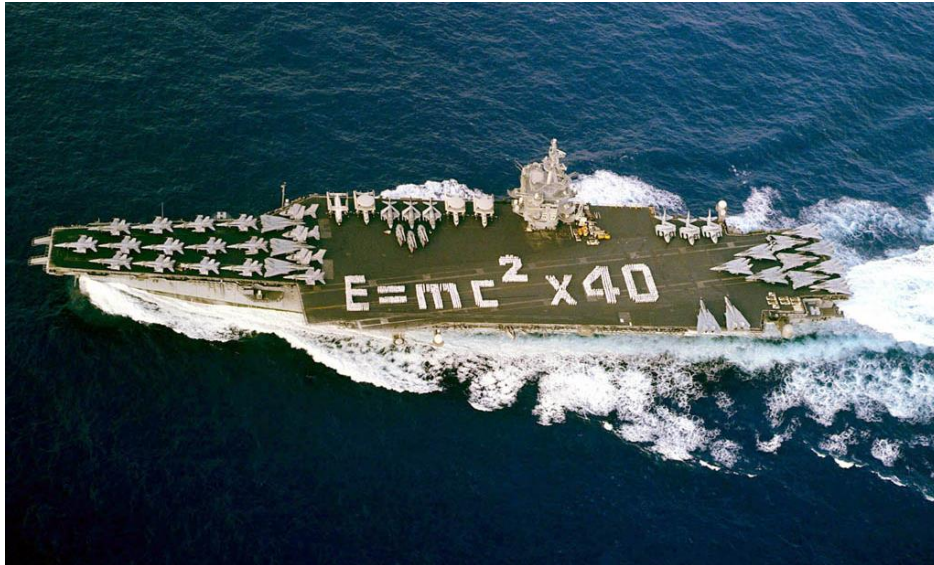
Centrala nucleară electrică de la Cernavodă este de tip CANDU, denumire care provine de la „**CAN**ada **D**euterium **U**ranium”. Reactorul utilizează uraniul natural ($0.7\% U^{235}$) ca și combustibil și apă grea (D_2O) ca și moderator de neutroni și agent primar de răcire. Noțiunea de “moderator de neutroni” se referă la încetinirea neutronilor rezultați din fisiune (neutroni termici) pentru a le crește eficiența de producere a unor noi reacții de fisiune (http://ro.wikipedia.org/wiki/Reactor_nuclear). Tehnologia reactoarelor CANDU a fost utilizată în toate centralele nucleare electrice din Canada și în țări ca: India, Pakistan, Argentina, Coreea de Sud, China și România.

Schema reactorului CANDU este prezentată în figura alăturată.



- 1 – Bare combustibil; 2 – Mantaua reactorului; 3 - Bare de control (cu rol de inhibare a fisiunii);
 4 - Rezervor presurizat pt. agentul primar de răcire (D_2O)
 (presiunea ridicată de lucru împiedică fierberea / vaporizarea agentului de răcire);
 5 – Generator de vapori; 6 – Pompa circuitului secundar; 7 – Pompa circuitului primar (D_2O);
 8 – Sistem de încărcare (înlocuire) a combustibilului nuclear; 9 – Moderator de neutroni (D_2O);
 10 – Tuburi presurizate; 11 – Abur; 12 – Condens; 13 – Blocul reactorului
http://ro.wikipedia.org/wiki/Fișier:CANDU_Reactor_Schematic.svg

În figura alăturată este prezentată imaginea primului portavion cu propulsie nucleară, realizată prin fisionne. Este vorba de portavionul american USS Enterprise, construit în 1964, actualmente dezafectat (la 1 decembrie 2012), care însă a rămas până în prezent cel mai lung vas din lume (342 m), fiind urmat de cele 10 portavioane americane din clasa "Nimitz", fabricate între 1975 și 2009 (333 m).

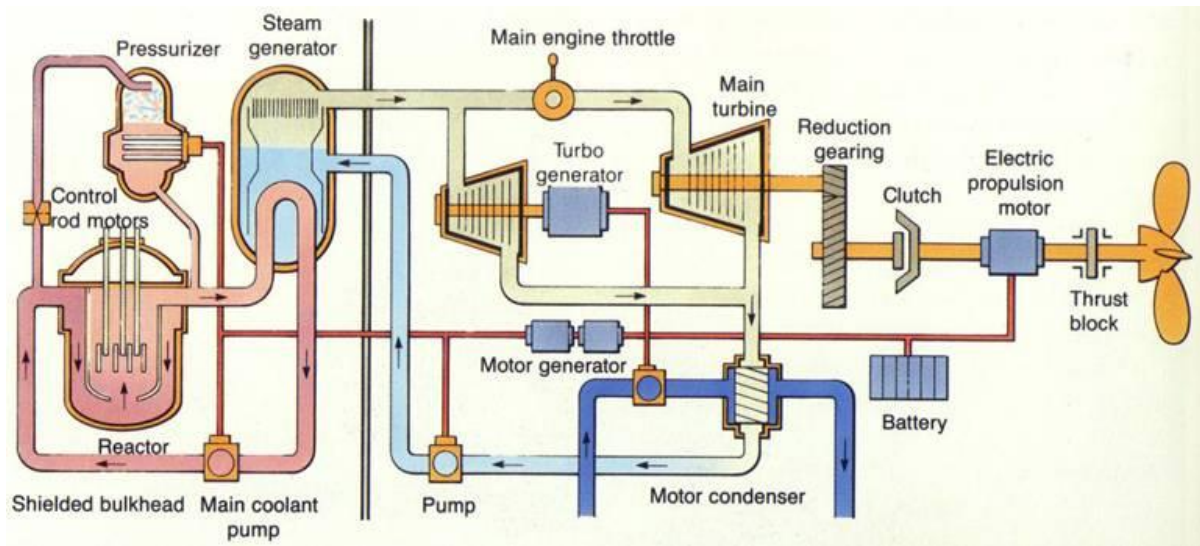


Portavionul USS Enterprise, prima navă cu propulsie nucleară
http://lanterloon.com/wp-content/uploads/Aircraft_carriers_USS_Enterprise.jpg

Comentarii:

- Denumirea clasei "Nimitz" a celor 10 portavioane operaționale ale marinei SUA, este utilizată în onoarea amiralului Chester W. Nimitz, comandantul flotei din Pacific, a marinei SUA din timpul celui de-al doilea război mondial. Amiralul C.W. Nimitz a fost ultimul amiral (general) cu 5 stele, din armata SUA.
- O listă a celor mai lungi nave din lume, este disponibilă pe internet:
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_naval_ships
- Inscripția de pe puntea principală, a fost realizată de echipajul portavionului, pentru a marca 40 de ani de propulsie nucleară navală.
- A fost dezafectat datorită perioadei îndelungate de exploatare a sistemului nuclear de propulsie și datorită echipamentelor de pe puntea principală, care permiteau detectarea pe radar a poziției portavionului. Portavioanele din clasa "Nimitz" sunt de tip "stealth" (camuflate / nu sunt detectabile pe radar).

În figura alăturată este prezentată schema de funcționare a sistemului nuclear de propulsie al navelor și submarinelor.



Circuitul primar

Shielded bulkhead – perete ecranat
Main coolant pump – pompa circuitului primar de răcire
Reactor – reactor
Control rod motors – motorul barelor de control
Pressurizer - Rezervor presurizat agent primar de răcire
Steam generator – Generator de vapori

Circuitul secundar

Main engine throttle – ventil de închidere al mototului principal
Main turbine – turbina principală
Reduction gearing – reductor cu roți dințate
Clutch – ambreaj
Electric propulsion motor – motor electric acționat de sistemul de propulsie
Thrust block – blocul de propulsie
Turbo generator – generator electric acționat de turbină
Motor generator – generator electric acționat de motorul electric
Motor condenser – condensatorul instalației motoare
Battery - baterie

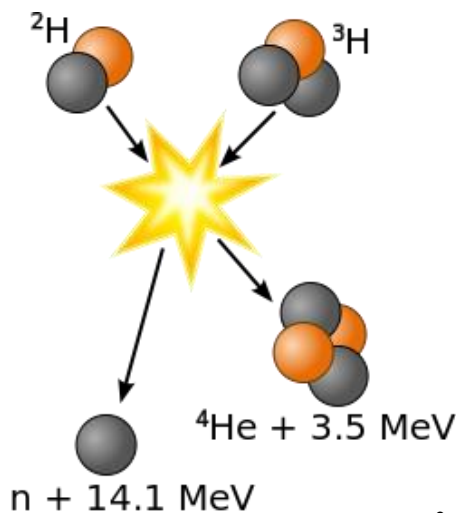
http://www.subadventures.net/Sub_04_719_files/image018.jpg

Fuziunea nucleară este o reacție nucleară în urma căreia două sau mai multe nuclee se ciocnesc cu viteză foarte mare și se unesc formând un nou tip de nucleu atomic. Uneori, energia necesară inițierii acestui proces este asigurată printr-o presiune “de lucru” foarte mare. (de exemplu în interiorul stelelor, această presiune este asigurată de gravitația foarte mare determinată de masa acestora).

Prin fuziunea (unirea nucleelor) mai ușoare decât fierul se produce mai multă energie decât este necesară pentru formarea de legături la nivelul noului nucleu format. În consecință, prin fuziunea nucleelor “ușoare”, se poate obține energie.

Observație: Pentru fuziunea (unirea nucleelor) mai grele decât fierul, în vederea realizării legăturilor necesare menținerii coeziunii noilor nuclee, este necesar aport (consum) energetic din exterior.

În figura alăturată este prezentată o schemă a reacției de fuziune dintre un atom de deuteriu (H^2) și unul de tritium (H^3), în urma căreia se formează un atom de He^4 . Din reacție rezultă și un proton.



Schema reacției de fuziune dintre deuteriu (H^2) și tritium (H^3)

Cantitatea de energie produsă este de $17.59 \text{ MeV} = 2.8 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ și este în concordanță cu ecuația lui Einstein, având în vedere pierderea de masă în urma reacției de fuziune

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

Cel mai reprezentativ exemplu de fuziune, este reprezentat de reacțiile din interiorul Soarelui.

Soarele reprezintă sursa de energie a Pământului, contribuind la menținerea temperaturii planetei mult peste valoarea de aproape 0 K, întâlnită în spațiul interplanetar și este singura sursă de energie capabilă să întrețină viața pe Pământ.

Soarele poate fi considerat ca o sferă având diametrul de cca. 1.4 milioane km, mai precis 1.39×10^9 m (Duffie, Beckman, 1980), aflată la o distanță de cca. 150 milioane km de Pământ adică 1.5×10^{11} m (Duffie, Beckman, 1980). Această distanță este atât de mare încât două drepte care pornesc dintr-un punct de pe suprafața Pământului spre două puncte diametral opuse ale discului solar, formează un unghi de aproximativ o jumătate de grad. În aceste condiții, cu toate că radiația solară este emisă în toate direcțiile, se poate considera că razele solare care ajung la suprafața Pământului sunt paralele.

În miezul Soarelui se desfășoară în continuu reacții de fuziune nucleară, prin care hidrogenul este transformat în heliu. În prezent compoziția masică a Soarelui este de cca. 71% hidrogen, 27.1% heliu, 0.97% oxigen și alte elemente în concentrații mai reduse (Chaisson E, McMillan S, 2010).

Viteza de conversie a hidrogenului în heliu este de cca. 4.26 milioane tone pe secundă (<http://en.wikipedia.org/wiki/Sun>). Acest debit de substanță se transformă în mod continuu în energie. Se estimează că în acest ritm, în următorii 10 milioane de ani, se va consuma cca. 1% din cantitatea actuală de hidrogen, deci nu există un pericol iminent de epuizare a sursei de energie a Soarelui. Durata de viață a Soarelui este estimată la cca. 4...5 miliarde de ani.

Considerând debitul masic de substanță solară care se consumă continuu transformându-se în energie $\dot{m} = 4.26$ milioane t/s = $4.26 \cdot 10^9$ kg/s, puterea termică a radiației solare emise în urma acestui proces (P), se poate calcula pornind de la celebra ecuație a lui Einstein pentru calculul energiei (E):

$$E = m \cdot c^2 \text{ [J]}$$

$$P = \dot{m} \cdot c^2 \text{ [W]}$$

unde:

$$c - \text{viteza luminii: } c = 300000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Înlocuind în relația de calcul a puterii termice a radiației emise de Soare, se obține:

$$P = 4.26 \cdot 10^9 \cdot 3^2 \cdot 10^{8 \cdot 2} = 38.34 \cdot 10^{25} \text{ W}$$

Puterea specifică a radiației emise de Soare (P_S), reprezentând puterea radiației emise de unitatea de suprafață, se poate calcula cu relația:

$$P_S = \frac{P}{S_S} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

unde:

$$S_S - \text{suprafața totală a Soarelui: } S_S = 6.08 \cdot 10^{12} \text{ km}^2 = 6.08 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$$

Înlocuind se obține:

$$P_S = \frac{38.34 \cdot 10^{25}}{6.08 \cdot 10^{18}} = 63.059 \cdot 10^6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 63.059 \frac{\text{MW}}{\text{m}^2}$$

Pentru comparație, se menționează că puterea maximă dezvoltată de motorul Renault K7M (1.6 MPI) care echipează unul din modelele autoturismului Dacia Logan, este de 64 kW, la turația maximă de 5500 rot/min. Astfel puterea specifică a radiației emise de Soare (P_S) este aproximativ echivalentă cu cea a 1000 motoare care echipează Dacia Logan 1.6 MPI, care funcționează la turația maximă. Având în vedere că lungimea unui asemenea autoturism este de 4.26 m, cele 1000 autoturisme așezate unul după celălalt, în linie dreaptă, "bară la bară" s-ar înșira pe o distanță de 4.26 km. Tot pentru comparație, puterea netă a unui

reactor de la Cernavodă (655 MW), reprezintă aproximativ de 10 ori mai mult decât puterea specifică a radiației emise de Soare (63 MW/m^2). Altfel spus, fiecare metru pătrat de suprafață a Soarelui, emite energie caracterizată printr-o putere termică aproximativ echivalentă cu o zecime din puterea unui reactor de la Cernavodă.

Având în vedere că Soarele emite radiație pe toate lungimile de undă, poate fi considerat un corp negru absolut, iar puterea emisă în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață, de către un corp negru absolut (adică tocmai P_S) depinde numai de temperatura acestuia și poate fi calculată conform legii lui Boltzmann, cu relația:

$$P_S = \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

unde:

σ – constanta lui Boltzmann: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T – temperatura corpului negru absolut (Soarelui) [K].

Cu ajutorul acestei relații, poate fi determinată valoarea temperaturii suprafeței Soarelui:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_S}{\sigma}} \text{ [K]}$$

Înlocuind se obține:

$$T = \sqrt[4]{\frac{63.059 \cdot 10^6}{5.67 \cdot 10^{-8}}} = 5774 \text{ K} \approx 5500^\circ \text{ C}$$

Această valoare corespunde cu cea indicată de majoritatea surselor bibliografice, ceea ce confirmă și faptul că toate calculele efectuate sunt corecte.

Temperatura miezului Soarelui, se estimează că variază între $(8..40) \cdot 10^6 \text{ K}$ (Duffie, Beckman, 1980).

Se poate considera că radiația solară este emisă uniform în toate direcțiile și poate fi regăsită în tot sistemul Solar. Intensitatea radiației solare disponibile datorită acestui mecanism, depinde în mod evident de distanța față de Soare, iar puterea termică a radiației solare este distribuită uniform pe suprafețe sferice, având Soarele în centru.

Puterea termică a radiației emise de Soare ($P = 38.34 \cdot 10^{25} \text{ W}$), poate fi calculată, pe aceste considerente, cu relația:

$$P = I_S \cdot S_S \text{ [W]}$$

unde:

$I_S \text{ [W/m}^2\text{]}$ – Intensitatea radiației disponibile pe unitatea de suprafață a unei sfere având Soarele în centru

$S_S \text{ [m}^2\text{]}$ – Suprafața sferei pe care se calculează intensitatea radiației solare.

Cu ajutorul relației de calcul prezentate anterior, intensitatea radiației solare raportate la unitatea de suprafață a unei sfere având Soarele în centru (I_S), poate fi calculată cu relația:

$$I_S = \frac{P}{S_S} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

unde:

$$S_S = 4 \cdot \pi \cdot D^2 \left[m^2 \right]$$

Înlocuind în relația anterioară, se obține:

$$I_S = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot D^2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Astfel, intensitatea radiației solare disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, se poate calcula cu ajutorul relației anterioare, considerând că D este distanța dintre Pământ și Soare $D = 149597871 \text{ km} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ km} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

$$I_S = \frac{38.34 \cdot 10^{25}}{4 \cdot \pi \cdot 1.496^2 \cdot 10^{11 \cdot 2}} = 1.364 \cdot 10^3 \frac{W}{m^2}$$

Intensitatea radiației solare disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, poartă denumirea de *constanta solară*.

Valoarea constantei solare calculată anterior, corespunde cu valoarea adoptată de World Radiation Center, de 1367 W/m^2 . Această valoare este raportată și de numeroase surse bibliografice. Valoarea constantei solare, care este determinată prin măsurători realizate cu ajutorul sateliților, a suferit mai multe corecții de-a lungul timpului, așa cum se observă în tabelul alăturat.

Valori acceptate de-a lungul timpului, pentru constanta solară

Valoarea	Anul	Apartenența
1322	1952	Abbot C.G.
1395	1954	Johnson
$1353 \pm 1.5\%$	1971	NASA
$1373 \pm 2\%$	1977	Frohlich
1368	1981	Willson
1373	1982	Hickey
1367	1982	Duncan
$1367 \pm 1\%$	-	World Radiation Center

Valoarea radiației solare disponibile la limita superioară a atmosferei terestre, suferă de-a lungul anului, mici variații de cca. $\pm 3\%$, datorate în principal fluctuațiilor distanței dintre Pământ și Soare (Duffie, Beckman, 1980).

Singura aplicație a fuziunii produse artificial, este reprezentată de bomba cu hidrogen.
În figura alăturată este prezentată explozia primei bombe cu hidrogen, a cărei nume de cod a fost “Ivy Mike” (1 noiembrie 1952).



Explozia primei bombe cu hidrogen
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:IvyMike2.jpg>

Unul dintre cele mai importante proiecte de cercetare științifică, având ca scop obținerea de energie cu ajutorul fuziunii, pentru utilizare pașnică, este ITER (**I**nternational **T**hermonuclear **E**xperimental **R**eactor) (<http://www.iter.org>).

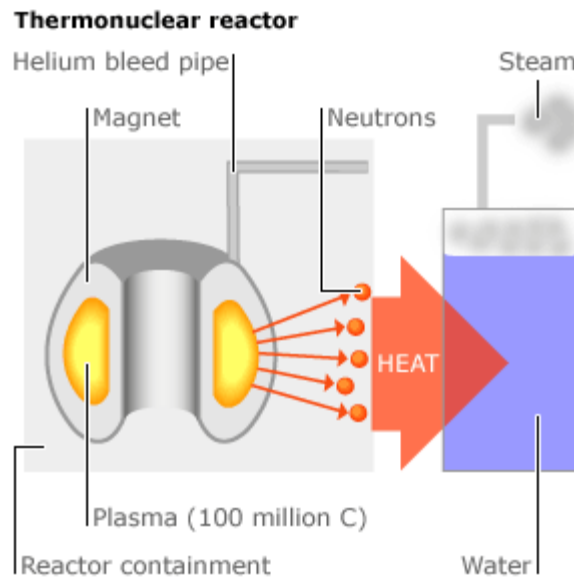
Proiectul este realizat în colaborare de numeroase țări: Uniunea Europeană, SUA, Japonia, Rusia, China, Coreea de Sud și India.

Scopul cercetării este reprezentat de construirea unui reactor de fuziune nucleară, în cca. 10 ani, cu un cost de cca. 5 miliarde de Euro.

Construcția a început în 2007 și se estimează că va începe să producă energie în 2020.

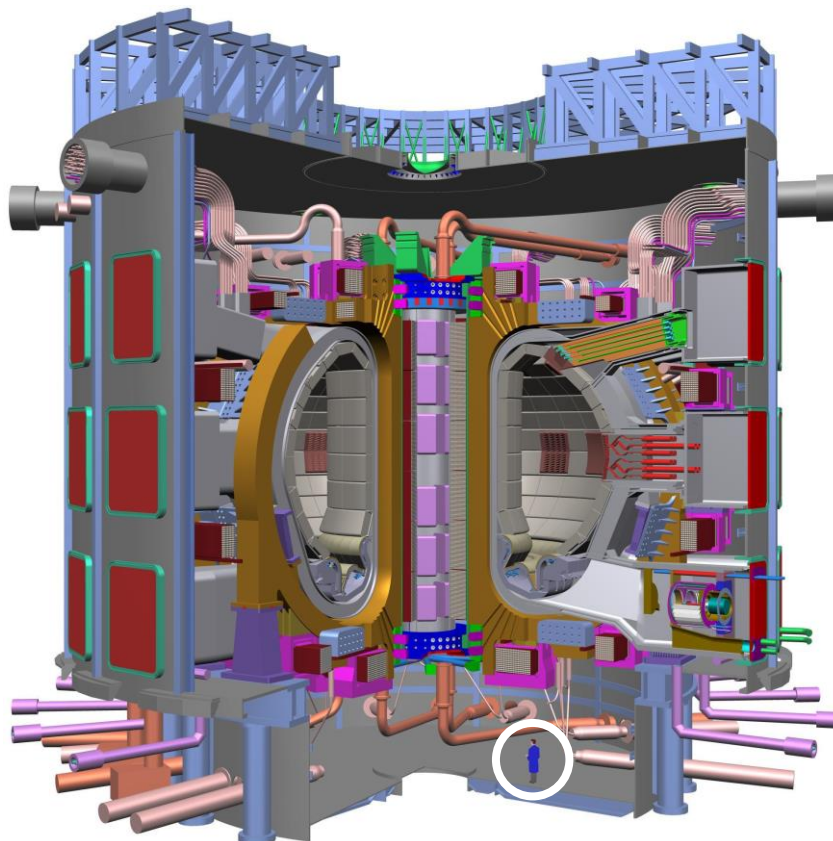
Proiectul contribuie la implementarea rezultatelor obținute în zeci de ani de cercetări, într-o instalație experimentală, care va permite trecerea la realizarea unei instalații comerciale.

În figura alăturată este prezentată o schemă a principiului de funcționare a reactorului prin fuziune ITER.



Schema principiului de funcționare a reactorului prin fuziune ITER

http://news.bbc.co.uk/1/hi/pop_ups/05/sci_nat_iter_the_next_generation_fusion_reactor/img/1.jpg



Imagine virtuală a reactorului prin fuziune ITER

http://tempest.das.ucdavis.edu/pdg/ITER_Website/ITER01.jpg

Referințe bibliografice

- Chaisson E, McMillan S, *Astronomy Today*, Benjamin-Cummings Publishing Company, 2010
- Duffie J., Beckman W.A., *Solar engineering of thermal processes*, Second edition, John Wiley & Sons, Singapore, 1980
- https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion
- http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission
- http://ro.wikipedia.org/wiki/CNE_Cernavodă
- http://ro.wikipedia.org/wiki/Reactor_nuclear
- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_naval_ships