



UNIVERSITATEA ECOLOGICĂ DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE ECOLOGIE ȘI
PROTECȚIA MEDIULUI



Program de studii universitare de master: Evaluarea Impactului asupra Mediului
Forma de învățământ: învățământ cu frecvență

Suport de curs pentru disciplina

Impactul Radiațiilor Electromagnetice asupra Mediului

Titular de disciplină
Prof. univ. dr. Dănciulescu Constantin

București
2018

CUPRINS

Forma de învățământ: învățământ cu frecvență	1
Suport de curs pentru disciplina	1
Titular de disciplină.....	1
București.....	1
CUPRINS	2
Introducere	4
a. Date privind titularul de disciplină.....	4
b. Date despre disciplină	4
c. Obiectivele disciplinei.....	4
d. Competențe acumulate după parcurgerea cursului.....	4
e. Resurse și mijloace de lucru.....	4
f. Structura cursului	4
g. Evaluarea.....	5
Capitolul 1. Radiațiile electrice atmosferice. Fizica ionosferei	6
1.1 Starea electrică a atmosferei.....	6
1.2 Ionizarea atmosferei	6
1.2.1 Ionizarea atmosferei prin fotoionizare. -----	6
1.2.2 Ionizarea atmosferei prin radiația corpusculară. -----	7
1.2.3 Starea electrică a ionosferei. -----	7
1.3 Descărcările electrice din atmosferă-----	9
Capitolul 2. Poluarea provocată de instalațiile electrice	12
2.1 Sursele electrice.....	12
2.2 Poluarea provocată de sursele electrice.....	12
2.2.1 Poluarea vizuală. -----	12
2.2.2 Poluarea sonoră. -----	12
2.2.3 Poluarea electromagnetică. -----	13
2.2.4 Poluarea psihică. -----	13
2.2.5 Poluarea ecologică. -----	13
2.2.6 Acțiunile biologice ale curentului electric. -----	13
2.2.7 Infestarea radioactivă. -----	14
Capitolul 3. Surse nepoluante de producere a energiei electrice.....	16
3.1 Centralele hidroelectrice.	17
3.2 Centralele eoliene.....	17
3.3 Centralele solare	18
3.4 Centralele nucleare	19
3.5 Centralele geotermale.....	20
3.6 Centrale cu biomasă	21
3.7 Hidrogenul, cea mai modernă sursă de energie.....	21
3.8 Energia oceanelor.....	22
Capitolul 4. Magnetismul. Câmpul magnetic terestru.....	23
4.1. Câmpul magnetic.....	23
4.2 Câmpul magnetic terestru.....	23
4.3 Impactul câmpului magnetic terestru asupra vieții	24
Capitolul 5. Producerea și propagarea undelor electromagnetice. Poluarea electromagnetică.....	27
5.1 Câmpul electromagnetic. Undele electromagnetice.....	27
5.2 Sursele electromagnetice.....	29
5.2.1 Sursele naturale electromagnetice. -----	29
5.2.2 Sursele antropice electromagnetice. -----	29
5.3 Măsurători ale câmpului electromagnetic	30
5.4 Efectele biologice ale undelor electromagnetice.....	30
5.5 Consecințele folosirii telefonului mobil.....	33

5.6 Cadru legislativ actual privind poluarea electromagnetică	34
Capitolul 6. Impactul echipamentelor laser asupra mediului	36
6.1. Principiul de funcționare al laserului	36
6.2 Proprietățile radiației laser	38
6.3 Acțiuni distructive ale radiației laser.....	39
6.3.1 Acțiunea radiației laser asupra materialelor și aparaturii. -----	39
6.3.2 Acțiunea biologică a radiației laser. -----	40
Capitolul 7. Impactul centralei nucleare-electrice asupra mediului.....	41
7.1. Radioactivitatea	41
7.1.1 Radioactivitatea naturală -----	41
7.1.2 Radioactivitatea artificială-----	41
7.2 Fisiunea nucleară. Reactorul nuclear	42
7.3 Impactul centralei nucleare-electrice asupra mediului.....	44
7.4 Fuziunea nucleară.....	45

Introducere

Cursul este destinat studenților din cadrul programului de studii universitare de master **Evaluarea Impactului asupra Mediului** al Facultății de Ecologie și Protecția Mediului.

a. Date privind titularul de disciplină

Nume și prenume:	Prof. univ. dr. Dănciulescu Constantin
E-mail:	constantindanciulescu@gmail.com

b. Date despre disciplină

Anul de studiu:	I
Semestrul:	1

c. Obiectivele disciplinei

Obiectivul general al disciplinei	- Introducerea cursanților în disciplina fizicii radiației electromagnetice și conturarea unui cadru conceptual necesar pentru înțelegerea domeniului specific funcționării și exploatarei echipamentelor electrice și electronice. - Înțelegerea corectă a conceptelor majore ale fizicii mediului și a raporturilor dintre fenomenele electrice și electronice, ecologie și protecția mediului
Obiectivele specifice	- Dezvoltarea capacității de a utiliza, în contextul protecției mediului, de termeni și noțiuni specifice domeniului specific funcționării și exploatarei echipamentelor electrice și electronice. - Înțelegerea importanței utilizării echipamentelor electrice și electronice pentru fundamentarea politicilor și strategiilor privind ecologia și protecția mediului.

d. Competențe acumulate după parcurgerea cursului

Competențe profesionale	- Cunoașterea, înțelegerea și utilizarea limbajului de specialitate. - Identificarea și utilizarea surselor de informații necesare pentru întocmirea aplicațiilor la noțiunile teoretice prezentate la curs. - Aplicarea abordării ierarhice în analiza studiilor de caz privind fenomenele electrice și electronice cu orientare spre dezvoltarea aptitudinilor privind protecția mediului.
Competențe transversale	- Exprimarea clară a unui punct de vedere în privința impactului echipamentelor electrice și electronice în cadrul științei mediului, în cadrul ecologiei și protecției mediului - Elaborarea de proiecte în domeniul evaluării impactului echipamentelor electrice și electronice asupra mediului - Capacitatea de a prezenta simplu și clar, pentru un public neavizat, consecințele exploatarei echipamentelor electrice și electronice, cu impact ecologic, al degradării mediului.

e. Resurse și mijloace de lucru

Pentru o pregătire temeinică vă sugerăm să consultați bibliografia recomandată.

f. Structura cursului

Cursul de **Impactul Radiațiilor Electromagnetice asupra Mediului** este alcătuit din 7 capitole:

Capitolul 1. Radiațiile electrice atmosferice. Fizica ionosferei

Capitolul 2. Poluarea provocată de instalațiile electrice

Capitolul 3. Surse nepoluante de producere a energiei electrice

Capitolul 4. Magnetismul. Câmpul magnetic terestru

Capitolul 5. Producerea și propagarea undelor electromagnetice. Poluarea electromagnetică

Capitolul 6. Impactul echipamentelor laser asupra mediului

Capitolul 7. Impactul centralei nucleare-electrice asupra mediului

Cursul de **Impactul Radiațiilor Electromagnetice asupra Mediului** poate fi studiat atât în întregime, potrivit ordinii prestabilite a capitolelor, dar se poate și fragmenta în funcție de interesul propriu mai accentuat pentru anumite teme. Însă, în vederea susținerii examenului este obligatorie parcurgerea tuturor celor 8 capitole.

g. Evaluarea

Înainte de examen este indicat să parcurgeți din nou toată materia, cu atenție, durata estimată pentru această activitate fiind de aproximativ o săptămână.

Tip activitate	Criterii de evaluare	Metode de evaluare	Pondere din nota finală
Curs	- corectitudinea și completitudinea cunoștințelor; - coerența logică; - gradul de asimilare a limbajului de specialitate; - criterii ce vizează aspectele atitudinale: conștiinciozitatea, interesul pentru studiu individual.	- Expunerea liberă a studentului; - Conversația de evaluare; - Chestionare orală. - Participarea activă la cursuri.	45%
Proiect	- capacitatea de a opera cu cunoștințele asimilate; - capacitatea de aplicare în practică; - criterii ce vizează aspectele atitudinale: conștiinciozitatea, interesul pentru studiu individual.	Participare activă la seminarii.	55%
Evaluare finală	Evaluare orală	Evaluare scrisă	100%
Modalitatea de notare (calificativ sau notă): NOTĂ			
Standard minim de performanță: cunoașterea elementelor fundamentale de teorie și practică, rezolvarea unei aplicații simple.			

Capitolul 1. Radiațiile electrice atmosferice. Fizica ionosferei

1.1 Starea electrică a atmosferei

În interiorul atmosferei există un câmp electric determinat de prezența de sarcini electrice negative pe suprafața Pământului și a unui surplus de sarcini electrice pozitive în atmosferă. Din determinările efectuate la suprafața Pământului s-a observat faptul că valoarea medie a câmpului electric este de aproximativ 100 V/m. Pe **timp de oraj**¹, această valoare poate crește considerabil.

Starea electrică a atmosferei își are originea în cel puțin două fenomene. Primul este ionizarea aerului prin agenți ionizatori. Cel de-al doilea fenomen, responsabil de menținerea sarcinii electrice superficiale a Pământului și a câmpului electric corespunzător, nu a fost explicat în toate aspectele sale. Pe timp frumos, transportul de sarcini electrice pozitive la sol prin curenți de conducție, ar trebui să neutralizeze sarcina superficială a Pământului în mai puțin de 50 minute. Aceasta înseamnă că sarcina electrică superficială a Pământului se reface neîncetat.

O ipoteză consideră suprafața Pământului și baza ionosferei armăturile unui imens condensator sferic, care sunt menținute la o diferență de potențial puțin variabilă printr-o mașină electrostatică de un caracter cu totul special și anume, totalitatea norilor orajoși care acționează pe tot globul terestru. Partea inferioară a norilor cedează electricitate negativă solului, în timp ce partea superioară cedează electricitate pozitivă ionosferei.

Mașina electrostatică încarcă armăturile condensatorului prin două rezistențe R_1 și R_2 , care reprezintă rezistențele electrice ale coloanelor de aer nori-sol și nori-ionosferă, fiecare coloană având secțiunea egală cu aria ocupată de norii orajoși. Dacă acest condensator uriaș nu s-ar descărca continuu, tensiunea dintre pământ și ionosferă ar crește până la valori enorme. Deoarece sarcina Pământului se menține la o valoare constantă înseamnă că acest condensator se descarcă în același ritm în care se efectuează încărcarea.

O altă ipoteză, care încearcă să explice existența sarcinii electrice superficiale a Pământului, este cunoscută sub numele de **teoria dinamică a electricității atmosferice**. Această teorie ia în considerare **acțiunea dipolului electric format de un nor asupra suprafeței Pământului**. În cazul unui nor sferic încărcat electric, situat într-un mediu omogen, liniile de câmp ale acestuia au o distribuție caracteristică unui dipol.

În apropiere de suprafața Pământului, apare o deformare a câmpului electric creat de norul sferic încărcat electric. Conductibilitatea electrică a solului fiind de 10^{14} ori mai mare decât cea a aerului, putem considera că aerul este izolator, iar solul conductor. În aceste condiții, acțiunea câmpului electric creat de nor determină electrizarea suprafeței Pământului.

În jurul hipocentrului (proiecția centrului norului pe sol) pe o suprafață circulară cu raza de 1,5 ori raza norului, solul este încărcat negativ și liniile de câmp sunt orientate în jos.

Câmpul electric terestru la sol și sub nor este orientat în jos și are o valoare de 10.000 V/m pe timp de oraj. În schimb, în zilele senine, el are o valoare medie de 100 V/m, deci de 100 ori mai mic. Rezultă că și sarcina electrică pe unitatea de suprafață în zonele noroase este de 100 ori mai mare decât cea în zonele senine.

1.2 Ionizarea atmosferei

1.2.1 Ionizarea atmosferei prin fotoionizare.

Starea de ionizare a aerului se caracterizează printr-un conținut determinat de ioni, variabil între anumite limite care sunt condiționate de intensitatea agenților ionizatori și de factorii meteorologici.

Soarele, izvorul unei uriașe energii, emite atât unde electromagnetice cu un spectru larg de frecvențe, cât și particule. Radiațiile ultraviolete cu lungimi de undă sub $0,1 \mu\text{m}$ și radiația corpusculară constituie principalii agenți ionizatori pentru gazele din atmosferă.

¹ Orăj = Fulger însoțit de tunet

Ionizarea atmosferei cu radiație electromagnetică se face prin fenomenul de fotoionizare. Conform teoriei efectului fotoelectric, când un foton de energie hc/λ ciocnește un electron dintr-un atom sau moleculă, îi cedează acestuia întreaga energie. O parte din energie se consumă pentru extragerea electronului din atom, deci pentru ionizare, necesitând în acest sens, energia de ionizare E_i , iar restul de energie se regăsește sub formă de energie cinetică E_c a electronului:

$$\frac{hc}{\lambda} = E_i + E_c \quad (1.1)$$

Lungimea de undă maximă λ_0 la care se mai produce ionizarea, cunoscută sub numele de **lungime de undă de prag** sau **prag roșu**, corespunde condiției $E_c = 0$ și se poate calcula pe baza relației (1.1) cunoscând energia de ionizare pentru gazele din atmosfera terestră.

Se observă faptul că cea mai mică energie de ionizare o are oxigenul molecular, căruia îi corespunde lungimea de undă de prag cea mai mare situată în ultravioletul scurt. Însă în atmosfera joasă ajung numai radiații ultraviolete cu lungimea de undă mai mare de $0,22 \mu\text{m}$ ceea ce înseamnă că ionizarea cu radiații ultraviolete se produce numai în atmosfera superioară.

1.2.2 Ionizarea atmosferei prin radiația corpusculară.

Un alt agent ionizator îl reprezintă radiația corpusculară. Ionizarea aerului cu radiație corpusculară se realizează conform teoriei ciocnirilor: atomul sau molecula se ionizează prin ciocnirea cu un corpuscul, dacă energia cinetică a corpusculului este cel puțin energia de ionizare:

$$\frac{mv^2}{2} \geq E_i \quad (1.2)$$

Legea conservării energiei în acest proces se scrie:

$$\frac{mv^2}{2} = E_i + E_c \quad (1.3)$$

unde E_c reprezintă electronului eliberat, m masa corpusculului în mișcare cu viteza v . Radiația corpusculară este formată în special din protoni, deși s-au pus în evidență și nuclee mai grele, ca de exemplu, particulele α .

În apropierea solului, cel mai important agent ionizator îl formează radiațiile emise de substanțele radioactive din scoarța Pământului, însă acțiunea lor ionizantă scade rapid în înălțime, datorită drumului mediu al radiațiilor emise.

Ca **agenți ionizatori ocazionali sau locali** trebuie menționați: fluxurile de meteoriți, fluxurile puternice de corpusculi emiși în perioada erupțiilor solare care produc și perturbații atmosferice, pulverizarea apei sau spargerea picăturilor de apă care determină electrizarea aerului și a picăturilor (efect Lenard), furtunile de nisip și zăpadă, care produc electrizarea nisipului, a cristalelor de gheață și a aerului.

Însă, odată cu fenomenul de ionizare se produce o **recombinare** a electronilor cu ionii care dau atomi sau molecule. În primă aproximație, cauza recombinației este mișcarea termică dezordonată a electronilor, ionilor și moleculelor, în așa fel încât electronii și ionii pozitiv se pot apropia mult unii de alții și, sub acțiunea forțelor electrostatice de atracție, să se transforme în atomi sau molecule.

1.2.3 Starea electrică a ionosferei.

În ionosferă, la înălțimi mai mari de 50 km, există păture ionizate care reflectă undele electromagnetice, făcând posibilă propagarea lor la mare distanță. Din acest punct de vedere ionosfera este împărțită în șase regiuni: C, D, E, F, heliosferă și protonosferă. Regiunea ionosferică C este în mod obișnuit parte cea mai joasă a ionosferei. Aceste regiuni sunt definite în termenii proceselor prin care sunt formate sau prin tipurile de ioni care îi conțin.

În regiunile ionosferice C și D ionii pozitivi sunt în cea mai mare parte NO^+ , iar sarcina negativă este formată din electroni și O_2^- . În toate regiunile înalte sarcina negativă este reprezentată aproape în întregime din electroni.

În regiunile E și F ionii pozitivi sunt în majoritate O_2^+ sau O^+ și NO^+ , în heliosferă He^+ iar în protonosferă H^+ .

Deși regiunile ionosferice nu pot fi delimitate exact, înălțimile convenționale sunt:

- limita inferioară a regiunii C este la 50 km;
- hotarul dintre regiunile C și D este aproximativ la 70 km;
- hotarul între D și E la 90 km;
- hotarul între E și F la 120-140 km.

Înălțimile granițelor dintre regiunea F și heliosferă, respectiv heliosferă și protonosferă sunt puțin cunoscute, dar ele sunt estimate la 500 km, respectiv 800 km. Toate aceste înălțimi variază mult în raport cu timpul zilei, anotimpul, activitatea solară și geomagnetică, înălțimile cele mai mici corespund nopții și minimului de pete solare (explozii magnetice solare), iar cele mai mari zilei și maximului de pete solare.

Regiunile C și D nu sunt așa de bine cunoscute ca alte regiuni ionosferice, pe de o parte pentru că noaptea dispar, iar pe de altă parte unde radio pe care le-ar putea reflecta sunt puternic afectate sau absorbite.

Regiunea E este cea mai bine cunoscută, reprezentând o regiune stabilă în ionosferă.

Regiunea F nu este stabilă ca înălțime și concentrație de electroni. Vara, regiunea F se descompune în două straturi; F_1 (O_2^+ și NO^+) și F_2 (O^+).

Aurorele polare. Acest spectacol magnific de culoare are loc datorita materiei expulzate de Soare, în timpul exploziilor solare, ce interacționează cu câmpul magnetic terestru. În urma puternicelor explozii solare sunt expulzate în spațiu particule puternic încărcate energetic (ioni) ce călătoresc prin spațiu cu viteze ce variază între 300 și 1200 km/s. Un "nor" de astfel de particule formează **plasma**. Fluxul de plasmă ce vine de la Soare este cunoscut sub numele de **vânt solar**.



În timp ce vântul solar interacționează cu marginile câmpului magnetic terestru, unele dintre aceste particule sunt atrase de acesta. Ele urmează apoi liniile câmpului magnetic în jos spre ionosferă, strat atmosferic situat între 60 și 600 km deasupra scoarței terestre. Când aceste particule interacționează cu gazele din ionosferă produc acest impresionant spectacol de lumini, numit **auroră**. Cele produse la Polul Nord se numesc **boreale** iar cele de la Polul Sud - **australe**. Gama de culori variază între roșu, verde, albastru și violet.

Luminile sunt în continuă "mișcare" datorită acestor interacții dintre vântul solar și câmpul magnetic terestru. Vântul solar generează de obicei puteri electrice până la 1000 GW într-un astfel de spectacol, acest lucru putând cauza interferențe cu liniile electrice, transmisiile radio, TV și comunicațiilor prin satelit. Prin studiul aurorelor, cercetătorii pot afla multe despre vântul solar, cum afectează acesta atmosfera și cum poate fi folosită aceasta energie degajată în folosul omenirii. În urma observațiilor asupra Soarelui, aurorele pot fi prezise cu destulă acuratețe.

După aspectul lor, aurorele polare se clasifică în două categorii:

- **aurore polare neradiative**, care o structură omogenă. Pot avea aspectul unor arce imobile, câteodată observându-se simultan mai multe arce așezate paralel între ele. Gradul de luminozitate este întotdeauna uniform pe toată întinderea arcului;

- **aurore polare radiative**, care pot fi arce radiante ce par a fi țesute dintr-un număr de raze scurte sau lungi dispuse perpendicular pe arc, sau aurore de flăcări, care au aspectul unor unde de lumină puternice care se deplasează cu viteză mare spre zenit.

Aurorele polare se disting printr-o repartitie geografică cu totul deosebită; cu cât înaintăm spre latitudini mai mari, cu atât se întâlnesc mai des. La o anumită latitudine ele ating maximul de dezvoltare, iar apoi devin din nou rare și mai puțin intense.

Zona frecvenței maxime de apariție a aurorelor polare din emisfera nordică trece de-a lungul litoralului nordic al Norvegiei, prin Novaia Zemlia, Peninsula Taimîr, Alaska de Nord, Canada și capul sudic al Groelandei. Aici, aurorele polare se observă aproape permanent în timpul nopții polare.

Liniile cu aceeași frecvență de apariție a aurorelor polare se numesc **izohasme**. Izohasmele din emisfera sudică reprezintă un fel de imagine în oglindă a izohasmelor din emisfera nordică.

Măsurătorile efectuate prin fotografiere sau prin radiolocație au arătat că limita inferioară a aurorelor se află aproximativ la 95-110 km și depinde de intensitatea lor; cu cât aurora este mai intensă cu atât este situată mai jos. Adică, puterea de pătrundere în atmosferă a particulelor care provoacă aurorele determină dimensiunile acestora.

Arcele aurorelor polare se întind de obicei de la răsărit la apus, adică pe o direcție aproape perpendiculară pe meridianele geomagnetice, iar razele aurorelor polare se așează pe direcție liniilor câmpului magnetic terestru.

Observațiile asupra aurorelor polare și asupra furtunilor magnetice provocate de petele solare au arătat că ele apar deseori împreună. Aurorele polare, ca și furtunile magnetice au tendința să se repete la fiecare 27 zile, ceea ce corespunde unei rotații a Soarelui în raport cu Pământul și au același ciclu de 11 ani ca și activitatea solară. Totuși, petele solare prin ele însele nu constituie cauza aurorelor polare și a furtunilor magnetice, dar există o corelație între ele.

O dependență strânsă s-a descoperit între aurorele polare și exploziile solare intense datorită ionizării aerului de radiația X generată în zona exploziei.

1.3 Descărcările electrice din atmosferă

Pe timp de oraj, când fenomenele atmosferice sunt însoțite de descărcări electrice, starea electrică normală a atmosferei se modifică datorită apariției marilor concentrații de sarcini electrice reprezentate de norii orajoși. Sub influența câmpurilor electrice ale acestor mari concentrații de sarcini electrice, câmpul electric terestru crește considerabil. În același timp, **curentul electric de precipitații** creat de sarcinile electrice transportate de nori, ca și descărcările electrice prin vârfulurile norilor și cele dintre nori și sol măresc considerabil transportul de sarcini electrice între atmosferă și pământ. De asemenea, conductibilitatea electrică a aerului crește prin apariție de noi agenți de ionizare, precum descărcările prin vârfuluri, trăsnetul și spargerea picăturilor de ploaie prin căderea lor la sol.

Fenomenele electrice pe timp de oraj sunt caracteristice norilor Cumulonimbus și apar când aerul conține o mare cantitate de vapori de apă.

Norii Cumulonimbus. Sunt mase de nori inferiori cu o mare extensiune pe direcție verticală, vârfulurile lor străpungând uneori tropopauza. În medie, extensiunea verticală a acestor nori este de ordinul 6 - 8 km, iar pe orizontală de 10 - 15 km. Înălțimea deasupra solului a bazei norului este de aproximativ 2 km. Astfel de nori se produc mai ales în timpul verii, în cursul după amiezilor calduroase, deasupra uscatului și noaptea deasupra mărilor.

Norii orajoși, ca și orice alt nor în general, nu pot fi considerați drept corpuri conductoare. Ionii care iau naștere în nor se fixează pe particule solide (cristale de gheață) și pe picăturile de apă, ceea ce nu permite o conductibilitate apreciabilă.

Distribuția sarcinilor electrice în interiorul norului se poate deduce din acțiunea pe care o are norul asupra câmpului electric terestru. Din acest punct de vedere, experiențele arată că norii orajoși se pot clasifica în următoarele trei categorii:

- **nori pozitivi-polari**, conțin sarcini electrice pozitive în partea superioară, respectiv sarcini electrice negative în partea inferioară;
- **nori negativi-polari**, conțin sarcini electrice pozitive în partea inferioară, respectiv sarcini electrice negative în partea superioară;
- **nori tripolari**, conțin sarcini electrice pozitive în partea de mijloc a norului, înconjurat de sarcini electrice negative.

Când depozitele de sarcini electrice pozitivă și negativă devin suficient de mari, se produc descărcările electrice. Producerea sarcinilor electrice continuă, însă, drept urmare depozitele de sarcini electrice se refac repede, dând naștere la alte descărcări electrice.

Privitor la mecanismul generării de sarcină electrică în nori, respectiv mecanismul separării sarcinilor electrice, nici la ora actuală nu există o teorie generală și exact demonstrabilă.

Dintre principalele teorii privitoare la aceste două mecanisme, amintim:

- Sub acțiunea câmpului electric terestru normal picăturile de apă se încarcă pozitiv în partea lor inferioară și negativ în cea superioară.

Picăturile mai mari și deci mai grele se deplasează în jos, întâlnindu-se cu picături mici purtate de curenți ascendenți. Prin ciocnire, picăturile mari cedează o parte din sarcina lor pozitivă picăturilor mici, care apoi își continuă drumul în sus. În acest fel, sarcinile negative rămase în exces pe picăturile mari se adună în partea inferioară a norului, iar sarcinile pozitive se adună în partea sa superioară. Separarea sarcinilor electrice este un efect al gravitației. Căderea picăturilor mari încetează când se stabilește un echilibru între forța electrică și cea gravitațională.

Această teorie se bazează pe ipoteza că forțele electrice care acționează asupra picăturilor de apă sunt mici în comparație cu forțele gravitaționale. Dacă însă aceste forțe sunt suficient de mari, separarea sub influența forței gravitaționale este imposibilă.

- Curenții de aer din interiorul norului produc pulverizarea picăturilor care, conform **efectului Lenard**, se electrizează pozitiv, iar aerul înconjurător, negativ. Picăturile coboară la baza norului, iar aerul electrizat negativ se ridică în părțile superioare. Acest proces se poate produce numai în zonele noroase unde temperatura este pozitivă. Astfel se poate explica existența sarcinii electrice pozitive în regiunea inferioară a unor nori.

Dintre toate aceste teorii ca și altele care se ocupă cu procesul de formare a electricității în nori, nici una nu s-a dovedit a fi destul de convingătoare pentru a explica mecanismul electrizării în norii orajoși.

Descărcările electrice care au loc în atmosferă se produc fie între doi nori (**fulgerul**), fie între un nor și un obiect în stare solidă (**trăsnetul**). După natura lor, descărcările electrice atmosferice pot fi:

1) **descărcări între nori**, având aspectul unei urme luminoase a cărei lungime este în jur de 15 km;

2) **descărcări în interiorul norilor**, care se produc între centre de sarcini de semn contrar din interiorul aceluiași nor;

3) **descărcări care nu ating solul**. Sunt de obicei descărcări progresive în salturi, neutralizate de sarcina spațială dintre nor și sol;

4) **descărcări prin părțile superioare ale norilor, dirijate în sus**. Asemenea descărcări se observă rar și au aspectul unei lumini difuze care apare în părțile superioare ale norilor;

5) **descărcări între nor și pământ**, numite trăsnete, sau fulgere de pământ;

6) **descărcări luminoase prin vârfuluri**, bazate pe efectul corona, care apar când câmpul electric atinge valori de ordinul 10^5 V/m. Acestea dau naștere la fenomene luminoase cunoscute sub numele de focurile Sf. Elm.

După forma exterioară, fulgerele pot fi:

a) **fulgere liniare**, alcătuite din fascicule în formă de benzi subțiri, strălucitoare, ramificate ori sinuoase și care se succed la intervale de sutimi de secundă. Datorită persistenței pe retina ochiului, ele dau impresia unor fâșii continue. Aceste fulgere sunt cele mai des observate;

b) **fulgere ramificate**, care apar sub forma unui canal frânt, cu lumină strălucitoare și o mulțime de ramificații ce străpung întreaga distanță de descărcare;

c) **fulgere în formă de bandă**, care au aspectul unor canale paralele, luminoase, cu puține ramificații, de obicei contopite între ele;

d) **fulgere în formă de rachetă**, care seamănă cu o dâră de rachetă. Se întâlnește rar și se dezvoltă relativ încet;

e) **fulgere plate** (difuze), au forma unei luminiscente roșiatice ce apare pe o porțiune mai mare sau mai mică dintr-un nor orajos;

f) **fulgere globulare**, apar sub forma unor sfere strălucitoare de culoare albă sau roșiatică, care plutesc în aer și produc un șuierat sau bâzâit. Sunt cazuri când fulgerele globulare apar și în absența norilor orajoși. Disparația lor se poate face lent, însoțită de o ușoară pârâitură, sau brusc, când se produce o explozie puternică cu efecte distructive. Diametrul lor este de 10-15 cm în apropierea pământului, sau poate atinge câțiva metri în atmosfera liberă. Durata lor poate fi de la câteva fracțiuni de secundă până la câteva minute. Se deplasează de obicei independent de curentul

de aer, deseori de-a lungul obiectelor bune conductoare de electricitate, cu o viteză de aproximativ 2 m/s.

Relativ la natura fulgerelor globulare se fac mai multe ipoteze:

- fulgere globulare sunt formate din diferite gaze (oxigen, hidrogen), care sub acțiunea forțelor electrice se adună sub forma unui ghem;

- fulgere globulare sunt alcătuite din vârtejuri de gaze care se mențin sub acțiunea forțelor de tensiune superficială. În interiorul acestora au loc reacții chimice care mențin temperaturi ridicate;

- fulgere globulare reprezintă zone de ardere ale unui gaz (hidrogen, propan) aflat în aer. În acest sens s-a demonstrat experimental că, dacă într-un volum de aer se găsește un asemenea gaz într-o proporție de 3,8-9%, la trecerea unei scânteii electrice se formează o mică sferă strălucitoare, care ulterior se transformă într-un norișor luminiscent.

g) **fulgere în formă de boabe** (mătăanii), care sunt observate destul de rar. De obicei ele fac trecerea de la fulgerele liniare la cele globulare. Astfel de descărcări electrice se presupune că ar fi rezultatul unor iluzii optice, în sensul că descărcarea prezintă în timp, în propagarea ei, diferite intensități luminoase. Distanța dintre boabe este aproximativ egală cu 1 m, iar diametrul lor poate atinge câțiva centimetri. Durata de existență a unui fulger în mătăanii nu depășește o secundă.

Principiile de protecție a instalațiilor, clădirilor, cu ajutorul paratrăsnetului au rămas aproape neschimbate din anul 1750, când B. Franklin a realizat primul paratrăsnet dintr-un stâlp înalt cu vârf ascuțit, metalic, legat la pământ.

Dacă un nor încărcat cu sarcină electrică negativă trece deasupra unui paratrăsnet înălțat mult deasupra solului și având potențialul pământului considerat egal cu zero, paratrăsnetul se va încărca prin inducție electrostatică cu sarcină electrică pozitivă. Datorită vârfului ascuțit, intensitatea câmpului electric în jurul lui va fi foarte mare, ionizând aerul dintre nor și paratrăsnet. Acest lucru determină efectul de descărcare dintre nor și paratrăsnet. Se realizează astfel o descărcare electrică dirijată între nor și pământ prin intermediul paratrăsnetului, realizând astfel o **zonă de protecție la fulgere de pământ** (trăsnete), adică zona cuprinsă în jurul paratrăsnetului în care un obiect este protejat de loviturile directe de trăsnet, datorită orientării acestuia spre vârful paratrăsnetului.

Instalația de paratrăsnet se compune din patru elemente constructive principale:

- elementul de captare, care primește nemijlocit lovitura de trăsnet;
- elementul de coborâre (de conducere spre pământ) a curentului electric de trăsnet;
- dispozitivul de pământare sau priză de legare la pământ;
- legături electrice între părțile metalice ale construcției și priza de pământ pentru uniformizarea potențialului pământului.

Paratrăsnetele pot fi verticale, de tip Franklin, sau orizontale, ambele tipuri reprezentând aparate pasive.

Datorită amplitudinii intensității curentului de trăsnet de circa 150 kA și a intensității câmpului electric de circa 500 kV/m, se determină o distanță minimă între paratrăsnet și obiectul de protejat. Aceasta nu poate fi mai mică de 3 metri. În perioada scurgerii la pământ a curentului de trăsnet în instalația de trăsnet și în zonele adiacente de pe suprafața pământului apar potențiale înalte, cel mai înalt fiind pe elementul de captare. Acestea pot fi periculoase pentru om, chiar fără ca omul să atingă vreo piesă metalică din instalația de paratrăsnet. Dacă picioarele lui se află la distanțe diferite, x și y, de priza de pământ între ele va apare o diferență de potențial, denumit **tensiune de pas**, exprimată prin relația:

$$U_p = V_y - V_x$$

Această tensiune devine nesemnificativă dacă prizele de pământ se amplasează cât mai departe (cel puțin 5 m) de drumuri sau alei circulante, sau dacă conductorul de coborâre și priza de pământ se îngrădesc. Din același motiv aceste două elemente ale paratrăsnetului se amplasează cât mai departe de intrarea în clădirea protejată.

Capitolul 2. Poluarea provocată de instalațiile electrice

2.1 Sursele electrice

Pentru apariția și menținerea curentului electric într-un circuit este necesar ca purtătorii de sarcină din conductor să fie acționați de forțe care să asigure deplasarea lor ordonată de-a lungul circuitului închis pe o anumită durată de timp.

Astfel de forțe pot fi aplicate purtătorilor de sarcină numai prin intermediul unui câmp electric neelectrostatic (neconservativ), numit **câmpul electric imprimat**, iar forțele produse de acesta se numesc **forțe imprimate**. Ele sunt generate, într-un punct sau în mai multe puncte ale circuitului închis, de către dispozitive numite **surse (generatoare) electrice**, caracterizate de o mărime electrică numită **tensiune electromotoare (t.e.m.)**, care transformă alte forme de energie în energie electrică.

Dacă în circuitul exterior sursei de tensiune electromotoare electronii se deplasează, sub acțiunea câmpului electrostatic creat de diferența de potențial de la bornele sursei, de la borna negativă la cea pozitivă, în interiorul acesteia, electronii se deplasează sub acțiunea câmpului imprimat creat de sursă de la borna pozitivă a sursei la borna negativă, pentru a menține constantă diferența de potențial la bornele sursei.

Sursele (generatoarele) electrice sunt reprezentate în principal prin:

- **sursele electrochimice**. Acestea sunt surse electrice de curent continuu, care transformă direct energia chimică, în energie electrică. Asemenea surse sunt: pilele chimice clasice (elementele galvanice), pilele de combustie și acumulatorii. Capacitatea acestora de a produce energie electrică este redusă și au o t.e.m. care nu depășește 3 V pe element. Totuși generatoarele electrochimice sunt încă de neînlocuit deoarece au calitățile de a fi autonome și transportabile;

- **generatoarele cu inducție**. Transformă energia mecanică în energie electrică pe baza fenomenului de inducție electromagnetică. Sunt preferabile, în majoritatea cazurilor, deoarece au un randament mai bun și la aceeași putere ocupă un spațiu mai redus decât generatoarele electrochimice. Asemenea surse sunt: generatoarele de curent alternativ (alternatoarele) și generatoarele de curent pulsatoriu (dinamurile);

- **sursele fotoelectrice (bateriile solare)**. Transformă energie luminoasă în energie electrică, funcționând pe baza efectului fotoelectric.

2.2 Poluarea provocată de sursele electrice

Pe lângă utilizările în toate domeniile de activitate, sursele electrice produc și fenomene negative (poluări). Deși mai reduse decât cele produse de alte genuri de instalații, totuși poluările produse de instalațiile electrice produc efecte negative care trebuie reduse la minim. Unele din efectele negative produse de aceste instalații au consecințe directe asupra organismului uman, așa cum este cazul poluării sonore sau a poluării psihice. Altele influențează indirect organismul uman, așa cum este cazul perturbațiilor produse de undele radio sau de televiziune.

2.2.1 Poluarea vizuală.

O linie electrică de înaltă tensiune produce poluare vizuală care se manifestă prin deteriorarea peisajului. Imaginea dată de pilonii ei înalți nu poate fi încadrată perfect în ambianța naturală a mediului, cu toate măsurile care se iau de asigurare a unei linii cât mai suple a pilonilor, de vopsire corespunzătoare și de mascare, acolo unde este posibil, după denivelările naturale ale terenului sau în spatele unei păduri.

2.2.2 Poluarea sonoră.

Tipul poluării sonore poate fi:

- **intermitent**, datorat utilajelor și echipamentelor în anumite momente ale funcționării lor: conectarea sau deconectarea întrerupătoarelor etc;

- **permanent**, datorat echipamentelor electrice în timpul funcționării lor: turbine, generatoare, transformatoare, linii electrice de înaltă tensiune.

Vibrațiile sonore se propagă sub formă de unde de o anumită amplitudine, frecvență, formă viteză și direcție de propagare. Undele sonore creează dilatări și comprimări succesive ale aerului înconjurător, care determină variații de presiune sonoră.

Efectele zgomotului asupra organismului uman sunt diverse, începând de la crearea unei stări de neliniște și nervozitate până la lezarea organului auditiv, acestea depinzând de intensitatea zgomotului poluant.

2.2.3 Poluarea electromagnetică.

Se referă atât la efectele directe asupra organismului uman (cazul poluării sonore dat de efectul corona, sau de câmpul electric) cât și de influențe indirecte (perturbații radio sau televiziune).

Efectul corona, se manifestă sub forma unor descărcări autonome și incomplete, concentrate în jurul conductorului aflat sub tensiune, în special în instalațiile care au tensiuni de cel puțin 10 kV. Sub conductoarele liniilor, respectiv sub barele stațiilor de transformare aflate sub tensiune, se aud pârâituri, iar noaptea se observă și efectul luminos al acestui fenomen, îndeosebi în vreme de umezeală, când aerul se ionizează mai intens.

Consecințele manifestării acestui fenomen constau în pierderi de putere electrică (pierderi corona), zgomote audibile, fenomene luminoase, perturbații în funcționarea aparatelor radio și televiziune.

Câmpul electric, care se formează între conductoarele aflate sub tensiune și Pământ determină fenomene de descărcare electrică. Valorile acestui câmp de la o anumită intensitate devine periculos pentru om. Printr-un om aflat în acest câmp apare un curent electric de descărcare care depinde atât de intensitatea câmpului electric, de gradul de izolare față de Pământ, cât și de timpul de expunere al acestuia în câmp.

Experimental s-a constatat că până la un câmp electric de 5 kV/m (linie electrică de 380 kV) acesta nu este periculos pentru organismul uman, între 5 kV/m și 25 kV/m (linie electrică de 2200 kV) trebuie să se limiteze timpul de lucru în câmp electric, iar la peste 25 kV/m nu se poate lucra decât cu măsuri speciale de protecție.

2.2.4 Poluarea psihică.

Are la bază sentimentul de teamă provocat de funcționarea instalațiilor electrice persoanelor din apropiere. Astfel, la declanșarea intempestivă a unui întrerupător, zgomotul provocat de acesta poate provoca un sentiment de spaimă, chiar și în cazul unui personal de specialitate. Faptul că se știe că prezența unui câmp electric produs de o instalație de înaltă tensiune poate produce modificări biologice, au determinat la unii lucrători senzații subiective de dureri de cap, amețeli, grețuri etc. Cu atât mai mari sunt efectele psihice în cazul unor persoane neavizate. De exemplu, în cazul staționării unui autovehicul sub o linie de înaltă tensiune, autovehiculul fiind izolat prin cauciucuri față de Pământ, acesta se încarcă cu electricitate. În momentul deschiderii ușii de un pasager aflat pe Pământ, se produc descărcări electrice nepericuloase, dar suficiente pentru a inspira teamă.

2.2.5 Poluarea ecologică.

Se manifestă prin: ocuparea terenurilor, defrișarea pădurilor, emanarea în atmosferă a gazelor rezultate prin arderea combustibililor în centralele electrice, respectiv mărirea posibilității de producere a infestării radioactive de la deșeurile rezultate în centralele nucleare și nu în ultimul caz accidente care pot fi provocate prin folosirea instalațiilor aflate sub tensiune.

2.2.6 Acțiunile biologice ale curentului electric.

Curentul electric afectează țesuturile vii atât prin stimularea sistemului nervos și a celui muscular cât și producerea de căldură prin efect Joule.

Un țesut este bun conducător datorită ionilor în soluție pe care îi conține. Pielea uscată (epiderma) are rezistența electrică mai mare putând astfel proteja corpul în cazul unei expuneri accidentale la o înaltă tensiune, această protecție dispărând când pielea este umedă. Un curent de 1 mA poate fi suportat de majoritatea oamenilor, însă unul de 5-10 mA este dureros, pe când un curent de 15 mA sau mai mare cauzează contracții musculare, împiedicând persoana implicată să se depărteze de sursa de curent. În plus respirație devine imposibilă.

Deoarece este necesar un circuit închis pentru ca să apară un curent electric, atingerea unui singur conductor electric nu produce nici un fel de efect dacă corpul este izolat. Dacă însă persoana este în contact cu obiecte umede sau metalice, prin corpul său va trece un curent electric.

Rezistența corpului uman este în jur de $1000\ \Omega$; dacă acesta este în contact electric cu o sursă a cărei tensiune este de 220 V, curentul ce-l străbate fiind în jur de 220 mA este extrem de periculos deoarece produce contracții rapide și neregulate, iar dacă acesta persistă poate cauza moartea.

Dispozitivele electrice folosite de om; dușuri electrice, monitoare de control a unor mărimi biologice (tensiune, puls), trebuie să fie prevăzute cu circuite de întrerupere a alimentării electrice dacă se constată, la contactul dintre corpul uman și dispozitiv, apariția unui curent electric de cel puțin 5 mA.

În general, factorii de care depinde gravitatea unui accident de natură electrică sunt: frecvența curentului electric, intensitatea curentului electric, durata de trecere a curentului electric prin organism, calea de închidere a curentului electric și starea fizică și psihică a persoanei în cauză.

Dacă curentul electric este alternativ, frecvența acestuia influențează valoarea intensității curentului maxim admis de organism. Valoarea maximă admisă este de 10 mA pentru curentul alternativ de 50 Hz, spre deosebire de valoarea maximă de 50 mA pentru curentul continuu.

Curentul alternativ de 50 Hz, cu o probabilitate de 0,5%, devine periculos și dacă se ating valorile de 9-10 mA la bărbați, 5-7 mA la femei și 4,5-5 mA la copii.

Durata de trecere a curentului electric prin organismul uman influențează prin faptul că, cu cât durata este mai mare, cu atât probabilitatea de accidentare este mai mare pentru valori mai mici ale curentului electric.

Unul din cele mai importante fenomene, care poate apărea în caz de electrocutare, este fibrilația inimii. Valorile limită ale intensității curentului electric și ale duratei de trecere a acestuia, la care se produce fibrilația inimii, sunt date în tabelul de mai jos:

I (mA)	10	60	80	110	160	250	350	500
t (s)	30	15	3	2	1	0,4	0,2	0,1

Calea de închidere a curentului electric este importantă dacă pe traseul ei se află un organ vital (de ex. inima), sau o regiune cu o sensibilitate nervoasă mai ridicată.

Starea fiziologică, patologică sau psihică a unui organism uman sunt și ele importante din punct de vedere al gravității unei electrocutări. Efectele unei electrocutări sunt mai grave în cazul unui om suferind (de inimă de exemplu) decât în cazul unui om sănătos. Cazurile de neatenție sau de preocupări colaterale măresc șansele de electrocutare.

2.2.7 Infestarea radioactivă.

Este produsă de deșeurile radioactive rezultate din centralele nucleare, care diferă de la o specie la alta și de suprafața de corp iradiată. Astfel, referindu-ne la doza biologică care este o mărime ce caracterizează gradul de iradiere, la o doză de 400-500 remi, numită **doză letală**, extinsă pe toată suprafața corpului, omul moare în cele mai multe cazuri de așa numita **boală de iradiere**. Dacă se aplică aceeași doză pe o suprafață restrânsă (un deget de exemplu), ea nu va avea consecințe mortale. Pentru alte ființe doza letală are alte valori; de la sute de remi pentru mamifere, la mii de remi pentru păsări și reptile, zeci de mii de remi pentru melci și aproximativ sute de mii de remi pentru bacteriile unicelulare.

În mod natural organismul uman este iradiat anual cu circa 125 miliremi (dacă omul se află la munte iradierea naturală este mai mare), din care 50 mremi provin din radioactivitatea materialelor terestre, alți 50 mremi din radiațiile cosmice și 25 mremi prin hrană, apă și aerul inspirat. Aceste valori sunt normale pentru paralele 45° latitudine nordică și la circa 60 m deasupra nivelului mării. Desigur că ele diferă și de elementele conținute în subsolul Pământului. astfel, în India radiațiile naturale ajung la 1500 mremi, iar în Brazilia la 1600 mremi, fără ca organismul uman autohton să fie perturbat în funcționarea sa.

Totodată omul suportă și o radioactivitate artificială produsă de aparatura casnică. Astfel, doza absorbită în cazul unui examen radiologic este de 50 mremi, funcționarea unui televizor în culori produce anual circa 10 mremi, iar un ceasornic cu cadran fosforescent circa 2 mremi.

Studii recente au arătat că datorită tuturor cauzelor de poluare radioactivă, doza de radiații pe cap de locuitor a crescut în ultimii 20 de ani de 5 până la 10 ori.

Iradieră îndelungată, chiar cu doze mici, poate produce leucopenii, la malformații congenitale, pe când iradierea cu doze mari duce la accentuarea leucopeniei, la eriteme, la hemoragii interne, căderea părului, sterilitatea completă iar în cazurile extreme produce moartea.

Capitolul 3. Surse nepoluante de producere a energiei electrice

Dintre toate formele de energie folosite de omenire, cea mai practică, extinsă, dezvoltată și ecologică formă de energie este energia electrică.

Tehnologii noi, care folosesc energii primare neconvenționale, nepoluante, au o pondere tot mai însemnată în producția de energie electrică. În prezent, încă, ponderea mare o are producerea de energie electrică pe bază de combustibili fosili (termocentrale), care poluează puternic mediul înconjurător.

Specialiștii caută combustibili și tehnologii care să reducă costurile de producție ale energiei electrice. În prezent energia nucleară este cea mai ieftină, iar energia produsă pe bază de păcură, cea mai scumpă, din cauza costului ridicat al petrolului, stabilit în urma crizei din anul 1973 (când a avut loc prima criză mondială a petrolului).

Datorită acțiunilor împotriva capacităților nucleare de producere a energiei electrice, care se manifestă foarte puternic și de multe ori prin forme violente, cele mai ieftine forme de producere a energiei electrice sunt în centrale care utilizează cărbunele. În plus, datorită cercetărilor și realizărilor turbinelor de gaz, a realizării de performanțe ridicate, și gazul a devenit un combustibil economic, preferabil altor combustibili.

Cercetări susținute aduc și formele de combustibili neconvenționali, ca: vântul, biogazul, curenții marini, lumina solară, la nivelul costurilor combustibililor consacrați, avantajos și indicat de folosit, din punct de vedere economic. În acest sens, graficul din Fig. 3 prezintă comparativ costurile de producție a energiei electrice, folosind diferiți combustibili.

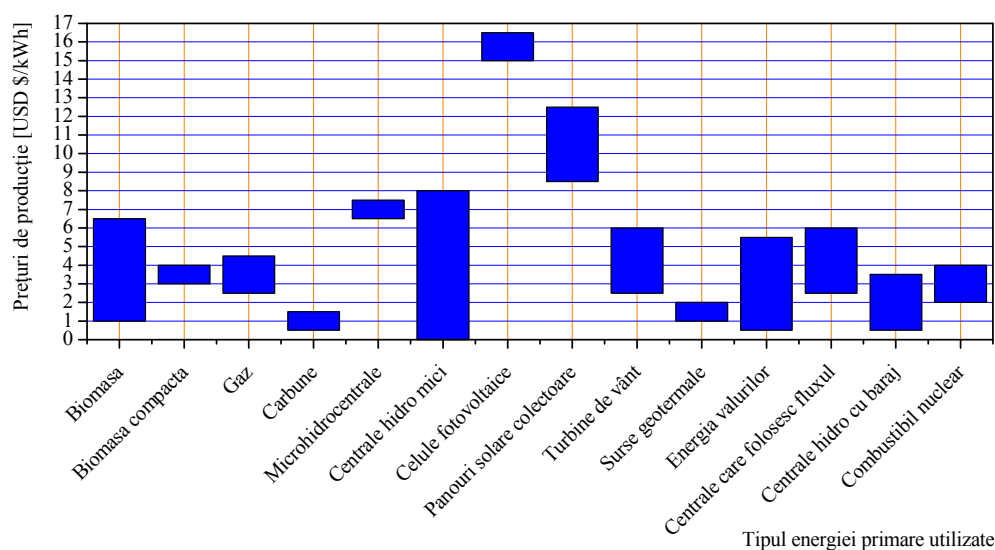


Fig. 3 Costurile de producție de energie electrică în funcție de energia primară folosită

Costurile de producție cele mai mici ale energiei electrice se obțin folosind cărbunele în termocentrale, respectiv material radioactiv în centralele nucleare.

Costuri acceptabile economic ale producției de energie electrică se obțin și prin utilizarea energiei eoliene, a energie hidraulice, a biomasei, a surselor geotermale. Încă la valori mari ale prețului de cost al energiei electrice se mențin procedeele de conversie a energiei solare în energie electrică cu ajutorul celulelor fotovoltaice și al panourilor colectoare de căldură. Conversia hidrogenului în energie electrică necesită costuri ridicate de producție ale hidrogenului folosind metoda de descompunere a apei prin electroliză, metodă ce utilizează curentul electric.

3.1 Centralele hidroelectrice.

În secolul al XIX-lea au început să fie construite amenajări hidroenergetice, compuse din turbine hidraulice, acționate de energia apei curgătoare sau a apei acumulate în lacuri de acumulare. Turbina, la rândul ei, antrena generatorul electric.

Energia hidraulică are următoarele caracteristici și avantaje față de alte forme de energie:

- în prezent este cea mai importantă sursă nepoluantă de energie folosită;
- este regenerabilă pe cale naturală, omul nu depune nici un efort pentru producerea ei;
- impactul ecologic produs de amenajarea hidraulică nu este neglijabil, dar este controlabil, și nu dezastruos. Nu emite noxe în mediul înconjurător;
- barajele și amenajările hidrotehnice permit producția de energie în funcție de cerințele consumatorilor, datorită timpului scurt de pornire;
- amenajările hidrotehnice realizate pentru stocarea apei prin pompaj din aval de acumulare permit o acumulare de energie cu o suplețe și mai mare.

Energia primară este asigurată de energia apei în diversele ei forme: diferența de nivel dintre nivelul acumulării apei și locul admisiei ei în turbina hidraulică, energia mareelor prin flux și reflux, energia valurilor, energia curenților marini, diferența de temperatură și salinitate a apei din mări și oceane.

Principalele construcții hidroelectrice realizate până în prezent în România sunt:

Centrala hidroelectrică	Râul	Puterea instalată (MW)	Puteri unitare (MW)	Acumularea	Volumul stocat (mil.m ³)	Perioada punere în funcțiune
Porțile de fier I	Dunărea	1200	6x200	Porțile de Fier	2.400,0	1971
Lotru Ciunget	Lotru	510	3x170	Vidra	370,0	1972
Râul Mare Retezat	Râul Mare	335	2x167,5	Gura Apelor	200,0	1987
Marișelu	Someș	220	3x73,5	Fântanele	220,0	1977
Vidraru	Argeș	220	4x55	Vidraru	465,0	1966
Porțile de fier II	Dunărea	216,0	8x27	Porțile de Fier II	800,0	1985
Stejaru	Bistrița	210,0	6x35	Izvorul Muntelui	1.230,0	1960

Acest tip de centrale sunt nepoluante, având numai influențe asupra modificării configurației și a condițiilor de mediu pentru dezvoltarea florei și faunei, în zonele în care au fost efectuate lucrări de amenajare hidrotehnice și în aval de acestea. De asemenea, echilibrul ecologic se schimbă, solicitând proiectanților preocupări de refacere a acestor echilibre deranjate. Au fost cazuri în care au dispărut specii de animale și plante care existau înainte de efectuarea centralei și au apărut altele, specifice zonelor de lac și vegetație acvatică. Zona din aval de baraj trebuie să fie total reamenajată, pentru a prevedea eventuale dezastru odată cu apariția viiturilor sau a ruperii barajelor.

Pe lângă funcția de producere a energiei electrice, amenajările hidrotehnice de pe fluvii sau râuri mari asigură posibilități de navigație fluvială, controlul asupra pericolelor de inundații și crearea de rezerve de apă pentru irigații în perioade secetoase. Acumulări amenajate în zone muntoase, aproape de izvoare, unde apa este curată și nepoluată de amenajări urbane, de prezența distructivă și perturbatoare a omului, se folosesc și pentru alimentarea cu apă potabilă a marilor orașe.

3.2 Centralele eoliene

Acest tip de centrale se bazează pe un procedeu cunoscut din timpuri străvechi, dar este bazat pe tehnologii dintre cele mai noi. Energia eoliană este direct legată de activitatea Soarelui pe Pământ, care creează diferențe de presiune atmosferică și de temperatură. Curenții de aer orizontali sunt permanent activi pe suprafața Pământului. Fluxurile de aer verticale create de ascensiunea

vaporilor de apă evaporați de pe suprafețele întinse ale mărilor și oceanelor sunt de asemenea prezente în tot cursul zilei și anului. Direcția vântului este influențată și de mișcarea de rotație a Pământului, ca urmare a forțelor Coriolis. Spre deosebire de razele solare care sunt prezente numai în cursul zilei, vântul poate bate tot timpul, zi și noapte. Aceste calități rezervă acestui tip de energie speranțe de viitor foarte mari, fiind în zone „energiilor curate”.

Evoluția construcției și montajului de generatoare electrice eoliene, în ultimele decenii, a fost deosebit de puternică, fiind una dintre cele mai dinamice.

Impactul asupra mediului înconjurător al dezvoltării energiei produse de generatoarele eoliene, la prima vedere și într-o clasificare generală, este minim, turbinele ce folosesc forța vântului fiind încadrate în categoria surselor de energie nepoluante. Privind problema mai în profunzime se constată că și turbinele eoliene produc efecte poluante asupra mediului înconjurător. Direcțiile în care se manifestă impactul asupra mediului înconjurător sunt:

- zgomotele produse,
- impactul vizual datorită mișcării de rotație a elicei,
- siguranța și impactul asupra faunei sălbatice și a habitatului său,
- influența electromagnetică a câmpurilor create,
- distrugerea (modificarea) formelor naturale ale reliefului zonei,
- modificarea stilului de viață și a preocupărilor populației locale,
- influențe asupra sistemului de telecomunicații din zonă.

Mișcarea de rotație a paletelor, a turbinei, antrenarea reductorului, mișcarea sa și a generatorului electric sunt tot atâtea surse de producerea zgomotelor. Cu cât grupul este mai mare cu atât zgomotele sunt mai mari.

Dacă asupra zgomotelor mecanice produse de piesele în mișcare, precum multiplicatorul de turație, generatorul, rulmenții, se mai poate interveni, în sensul reducerii acestora prin mijloace cunoscute, asupra zgomotului aerodinamic produs de rotirea elicei nu se poate interveni. Singura măsură este să nu se construiască elice cu diametru mai mare de 20 m în zonele locuite. Aceasta are însă dezavantajul că limitează puterea grupului energetic.

Forma, mărimea, permanenta mișcare, amenințarea elicelor, prezența turnurilor pe care sunt montate turbinele și generatoarele creează o senzație de disconfort și aspect neplăcut asupra omului, mai ales pentru zonele liniștite în care în prezent se amplasează turbine eoliene. Reflexiile mișcătoare, produse de lumina Soarelui și a Lunii oglindită pe suprafața lucioasă a paletelor elicei, care apar fulgerător și dispar imediat, reflexii care se multiplică în toate paletele elicei, „măturând” suprafața Pământului și a pereților caselor, pătrunzând noaptea și prin ferestrele locuințelor localnicilor, luminând pentru o clipă încăperea cufundată în întuneric, produc efecte de groază, de disconfort, asupra localnicilor.

3.3 Centralele solare

Ca și centralele eoliene, și acest tip de centrale a fost nominalizat la Conferința de la Kyoto să fie dezvoltat și utilizat pe scară largă în viitor. Energia solară este oferită gratis, dăruită de natură, iar echipamentele nu sunt deosebit de numeroase și sofisticate. Aceste argumente stau la baza prețului scăzut de producție al acestui tip de energie electrică.

Centralele solare se utilizează în zone în care soarele se află multe ore în timpul zilei deasupra orizontului (peste 10-12 ore) și sunt multe zile însorite pe an (mai mult de 270 zile însorite).

Pentru a mări randamentul se folosesc dispozitive care mișcă panourile solare după poziția soarelui, astfel ca unghiul de incidență să fie cât mai mic (aproape de 0°) și deci randamentul de încălzire să fie maxim. Un alt avantaj al acestui tip de centrale este și acela că ele pot stoca energia termică solară în rezervoare mari de apă pentru timp îndelungat.

Centralele solare echipate cu celule fotovoltaice. Folosesc energia luminoasă și calorică a razelor solare pe care o transformă direct în energie electrică. Până în prezent, randamentul de transformare nu a ajuns la valori care să satisfacă utilizarea acestui tip de centrale pe scară largă, comercială. Mărimea acestor tipuri de centrale nu permite încă alimentarea unor consumatori mari de energie electrică.

Cercetările făcute până în prezent au demonstrat că zona cea mai favorabilă, cu eficiență maximă, se află în banda de 20 km nord-sud față de ecuator. Multe țări localizate în această bandă au în program alimentarea în special a locuințelor din sectorul rural, acolo unde nu există resurse energetice primare, linii de transport și distribuție a energiei electrice.

România dispune de un important potențial energetic solar determinat de un amplasament geografic și condiții climatice favorabile. Zonele de interes deosebit pentru aplicațiile electroenergetice ale energiei solare fiind:

- Câmpia Română, Câmpia de Vest, Banat și o parte din Podișurile Transilvaniei și Moldovei. Aceste zone dispun de fluxuri energetice solare medii anuale;

- Dobrogea, litoralul românesc al Marii Negre și Delta Dunării, ce prezintă trăsături aparte, unde fluxul de energie solară mediu anual este deosebit de favorabil, precum și un număr de peste 2200 ore însorite pe an.

Potențialul solar din România este reprezentat de densitatea medie de energie aferentă radiației solare incidente, în plan orizontal, care depășește 1.000 kWh/mp/an.

Prețul energiei electrice produse din surse solare fotovoltaice variază între 25 cenți/kWh și 50 cenți/kWh. Pentru alimentarea unor consumatori izolați și consumuri mici de energie, sistemele fotovoltaice oferă o alternativă economică atractivă, dacă se ține seama de costul ridicat pentru racordarea consumatorilor la rețeaua electrică aferentă sistemului energetic național. De exemplu, pentru un sistem solar cu puterea instalată de 1 MW este necesar un modul fotovoltaic cu suprafața de circa 30.000 mp.

Centralele solare echipate cu celule fototermice. Se folosesc, de obicei, pentru prepararea apei calde menajere în locuințe individuale și în centrale termoelectrice. În condițiile din România, un captator fototermic funcționează, în condiții normale de siguranță și eficiență, pe perioada martie-octombrie, cu randamente ce pot să ajungă până la 90%. Aportul energetic al acestor centrale la necesarul de căldură și apă caldă menajeră din România este evaluat la circa 1.434 mii tep (tone echivalent petrol), ceea ce ar putea substitui aproximativ 50% din volumul de apă caldă menajeră sau 15% din cota de energie termică pentru încălzirea curentă.

3.4 Centralele nucleare

Energia nucleară nu a fost folosită la început în scopuri pașnice, pentru producerea energiei electrice. De la începutul deceniului cinci al secolului trecut (1942), după prima reacție de fisiune nucleară controlată, s-a reușit, până astăzi, ca 17% din producția mondială de energie electrică să fie produsă cu ajutorul centralelor nucleare.

Principalele cauze care au frânat sau oprit total o dezvoltare și mai mare a producerii energiei electrice în centrale nucleare au fost:

- protestul populației și al organizațiilor ecologiste “Greenpeace”,
- nesiguranța privind estimarea costurilor de producție, la început,
- valoarea mare a costurilor de dezafectare, după folosire,
- valoarea mare și riscurile produse după depozitarea pe perioade lungi a deșeurilor nucleare,
- frica față de posibile accidente, apărută în special după cel de-al doilea război mondial, din Japonia, sau catastrofele nucleare produse la centrale nucleare din Statele Unite ale Americii (1958), fosta Uniune Sovietică, acum Ucraina, la Cernobîl (1986).

Totuși, industria nucleară energetică s-a dezvoltat mult, în special datorită unor avantaje față de alte tipuri de centrale:

- realizarea în timp mai scurt a construcției reactoarelor nucleare,
- creșterea siguranței în exploatarea a reactoarelor nucleare,
- construirea de depozite la nivel mondial pentru depozitarea finală și definitivă a deșeurilor radioactive,
- acumularea de experiență în exploatarea centralelor nucleare,
- creșterea necesarului de energie electrică la nivel mondial,
- diminuarea riscurilor privind estimarea costurilor investiției obiectivului nuclear,

- este o opțiune favorabilă pentru păstrarea unui mediu nepoluat, fiind considerată o industrie mai puțin poluantă decât cea prin care se ard combustibili fosili.

Principiul de funcționare al unei centrale nucleare este furnizarea de căldură dezvoltată de combustibilii nucleari prin reacția de fisiune. Reacția de fisiune are loc în reactor, unde combustibilul nuclear, de exemplu U^{235} , este bombardat cu neutroni, declanșându-se o reacție în lanț însoțită de căldură. Prin intermediul moderatorului, care poate fi apă grea, grafit sau alt material, reacția nucleară este controlată.

Combustibilul nuclear, după utilizare, se extrage din reactor și se depozitează în locuri speciale, urmând a fi dezactivat în timp. Agentul primar încălzește apa din generatoarele de abur. Aburul furnizat astfel pune în mișcare o turbină cu abur, care, la rândul ei, antrenează generatorul electric, montat pe același ax cu turbina, producând în final energie electrică.

O preocupare deosebită a specialiștilor din centralele nucleare, în competiție permanentă cu alte tipuri de centrale care utilizează alt tip de combustibil (fossil, hidro, neconvențional), este problema costurilor, respectiv de a produce energie electrică cu costuri cât mai mici, adică:

- costurile de construcție să nu depășească 1000\$/kW instalat,
- costurile de exploatare să nu fie mai mari de 1 cent/kWh produs.

Problema dezmembrării și demontării echipamentelor nucleare uzate este deosebit de sensibilă, având în vedere că materialele, pe parcursul funcționării în contact cu fluide și combustibili nucleari, s-au contaminat radioactiv. Perioada de decontaminare a conductelor și a celorlalte echipamente este deosebit de lungă, procedurile sunt foarte costisitoare, materialele de protecție individuale ale personalului muncitor sunt deosebit de scumpe, măsurile de protecție foarte stricte.

Prima centrală nucleară dezafectată în lume a fost cea de la Shippingport, din SUA. Centrala avea 60 MW, a fost construită în perioada 1954-1956, a început să producă energie electrică în 1957, a fost oprită din funcționare în 1982, perioadă în care a produs 7,4 miliarde kWh electricitate. Dezafectarea s-a terminat complet în 1989, reactorul nefiind dezmembrat în componente, ci dezafectat ca o piesă unică, datorită dimensiunilor mici. Până în prezent, în SUA au fost dezafectate 20 centrale nucleare electrice.

S-au tras câteva concluzii:

- durata maximă de funcționare: 35 ani,
- durata minimă de funcționare: sub 1 an,
- puterea minimă/puterea maximă: 40/1095 MW.

3.5 Centralele geotermale

Căldura naturală provenită din interiorul Pământului poate fi folosită ca sursă de energie prin trei procedee diferite:

- ca surse primare de apă caldă sau abur;
- ca sisteme așa-numite "roci calde uscate" (hot dry-rock);
- ca sisteme de încălzire directă, prin conducte de căldură.

Primele două sisteme (temperatura apei fierbinți din zăcăminte subterane fiind cuprinsă între 80 și 150°C sau peste) sunt utilizate în principal pentru producerea energiei electrice și încălzire. Al treilea sistem (temperatura apei fierbinți a zăcămintului subteran este cuprinsă între 20 și 80°C) se pretează la o varietate de utilizări, ca încălzirea de clădiri, încălzirea de sere, procese industriale.

Energia termală este transmisă de la adâncimi mai mari de circa 10 km prin flux geotermic, îndreptat către suprafață, rezultat din temperaturile ridicate existente la adâncime, ca urmare a existenței magmei vulcanice, plutoniului, descompunerii naturale a elementelor radioactive în scoarța terestră. Se știe că temperatura scoarței terestre crește cu adâncimea, la fiecare kilometru temperatura crește cu 30...40°C (gradientul mediu de temperatură este de 30%).

Costul energiei produse este foarte scăzut, ajungând la 1,4 cenți/kWh.

Utilizarea capacității pământului de stocare a căldurii/frigului pentru încălzirea/răcirea spațiilor închise, cu ajutorul pompelor de căldură, se bazează pe faptul că pământul are capacitatea foarte mare de stocare a căldurii, acumulată în timpul călduros, respectiv a frigului, în timpul

friguros. Această căldură/frig se menține o perioadă mare după ce aerul atmosferic și-a schimbat temperatura. Astfel, în perioada timpurie a verii, pământul mai deține răcoarea acumulată în timpul iernii, iar în prima perioadă a iernii, pământul este mai cald decât atmosfera datorită acumulării de pământ în timpul verii.

Pe aceste fenomene se bazează extragerea căldurii din pământ în timpul iernii, când acesta este mai cald decât aerul atmosferic, și extragerea frigului din pământ, în timpul verii, când pământul este mai rece decât aerul atmosferic.

Temperatura surselor geotermale (cu exploatare prin foraj-extracție) se înregistrează în România la ape de adâncime, (cu temperatura cuprinsă între 25°C și 60°C), respectiv la ape mezotermale, cu temperatura de la 60°C până la maxim 125°C. Aceste resurse geotermale (de joasă entalpie) se utilizează la încălzirea și prepararea apei calde menajere în locuințe individuale, servicii sociale, sectorul industrial sau spații agrozootehnice (sere, solarii, ferme pentru creșterea animalelor).

O activitate deosebit de importantă în cazul utilizării agentului geotermal este reinjecția, adică reintroducerea fluidului geotermic după utilizarea sa termică, în zăcămintul acvifer de unde a fost extras inițial. Acțiunea aceasta este deosebit de importantă prin faptul că, de obicei, apa extrasă conține foarte multe minerale care, lăsate la suprafață, poluează foarte puternic mediul înconjurător.

3.6 Centrale cu biomasă

Exploatarea biomasei în scopuri energetice are loc atât în procese la scară redusă, care utilizează resurse de pe plan local, cât și la scară industrială, prin metode industriale, sau semiindustriale, când producția se bazează pe consumul de deșeuri ale unei industrii de bază. Folosirea biomasei și a deșeurilor se motivează prin grija față de protecția mediului înconjurător, de utilizarea resurselor locale, de rezolvarea problemei depozitării deșeurilor, cu toate problemele lor (miros urât, pericol de autoaprindere, voluminoase, toxice etc.) rezultate dintr-o industrie primară.

Prin **biomasă** se înțelege masa de origine organică-biologică nefolositoare, având o putere energetică semnificativă, care poate fi utilizată. Biomasa poate fi ciclată în sezoane ce depind în principal de temperatură și de prezența razelor solare. Procesul de transformarea materiilor organice, sub influența razelor solare, în biomasă cu valoare energetică se numește **bioconversie**.

Deșeurile de natură vegetală sau animală, prin procesul de fermentare și putrefacție, produc **biogazul** care trebuie stocat și apoi folosit la cerere. Instalațiile de stocare, de transport și de manevrare a deșeurilor sunt voluminoase, iar ce de folosire a biogazului au regim special, deoarece pot apărea presiuni mari, necontrolabile, procesul de formare al biogazului nefiind bine stăpânit în prezent. Aceste caracteristici, ca și altele, au fost motivele pentru care centralele executate pe bază de biomasă nu au capacități mari, până în prezent.

Pentru a produce 10 MWh energie electrică sunt necesare circa 100.000 t/an de deșeuri biomasă. Aceste deșeuri se pot colecta de la ferme ce sunt amplasate în jurul centralei, la maximum 55 km.

Comparând cu costurile într-o centrală care utilizează drept combustibil cărbunele, cu o eficiență de 35%, costul energiei electrice produse în centrale electrice care utilizează deșeuri de origine animală și vegetală, deșeuri solide din resturi de mâncare, deșeuri de la spitale etc. este de 3,4 cenți/kWh.

3.7 Hidrogenul, cea mai modernă sursă de energie

Hidrogenul este un combustibil aproape ideal din care se poate obține energie curată, care nu poluează mediul. Se poate transporta și stoca fără a afecta mediul înconjurător. Formele de utilizare sunt multiple, de la arderea sa și obținerea de energie termică până la reacția în lanț, principiu pe care se bazează funcționarea bombei cu hidrogen. Acest combustibil are o mare putere calorică și poate fi transformat în toate cele trei stări de agregare.

Deocamdată, acest combustibil are un preț de fabricație destul de ridicat; încă nu a devenit competitiv cu alți combustibili pentru a fi utilizat la scară industrială.

Deja s-au executat vehicule speciale, în special pentru transportul urban, care folosește hidrogenul drept combustibil. În acest sens, soluția considerată optimă este utilizarea celulelor fotovoltaice care să producă energie electrică necesară procesului de electroliză a apei, în urma căruia să se obțină hidrogenul necesar transportului urban de călători și de mărfuri.

Comparând costurile de producție ale hidrogenului obținut prin folosirea diverselor tehnologii de producție, se observă că utilizarea electrolizei apei este cel mai scump procedeu, pe când obținerea hidrogenului prin descompunerea gazului metan, al metanolului sau gazolinei, are prețul de producție mai mic.

În prezent, este mai economic să se utilizeze gazul natural extras din zăcămintele, decât să se extragă hidrogenul din el.

3.8 Energia oceanelor

Este reprezentată de energia mareelor, a valurilor, a curenților marini, a gradientului de temperatură și a gradientului de salinitate. Din păcate, pentru producerea energiei electrice, sunt necesare instalații de dimensiuni mari, sursele energetice ale oceanelor având o densitate mică.

Energia mareelor. Rezultă prin energia potențială datorată deplasării pe verticală a masei de apă sau energia cinetică datorată curenților mareelor, ambele cauzate de flux și reflux.

Modul de funcționare al centralelor electrice care folosesc energia mareelor este următorul: în perioada fluxului, când nivelul apei oceanului crește, prin niște canale special construite apa este condusă gravitațional în interiorul unei incinte închise, formată în spatele unui baraj, antrenând rotoarele unor turbine hidraulice și producând astfel energie electrică. Când perioada de flux se termină și nivelul apei încetează să crească, se închid batadourile de acces a apei în incinta închisă. În perioada refluxului, diferența de nivel a apei din interiorul incinte închise și exteriorul incinte – largul oceanului – este maximă, moment în care se deschid vanele de acces al apei spre turbinele hidraulice prin care sensul apei este invers față de perioada fluxului, turbine care antrenează generatoarele electrice și produc energie electrică.

Energia valurilor. Constă în folosirea energiei potențiale a fluidului deplasat pe verticală față de nivelul apei liniștite, respectiv a energiei cinetice a particulelor de apă în mișcare.

Capitolul 4. Magnetismul. Câmpul magnetic terestru

4.1. Câmpul magnetic

Existența unor roci, numite magnetite, de la numele localității Magnesia din Asia Mică unde au fost descoperite, între care se manifestă forțe de atracție sau de respingere, experiențele lui H. Oersted efectuate în anul 1820 prin care se pun în evidență forțele ce acționează asupra unui ac magnetic aflat în apropierea unui conductor parcurs de curent electric, precum și experiențele lui A. M. Ampère, efectuate în aceeași perioadă, care au pus în evidență forțe de interacțiune între două conductoare prin care circulă curent electric, au dovedit existența unui nou tip de câmp numit **câmp magnetic**, Fig. 4.1, iar forțele de interacțiune numite **forțe magnetice**.

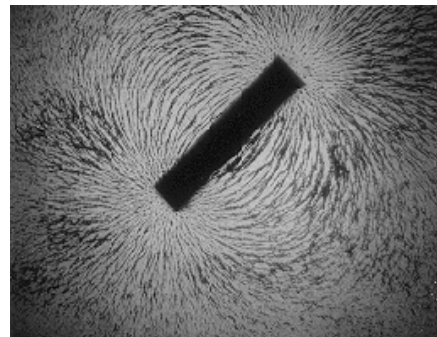


Fig. 4.1 Câmpul magnetic produs de o bară magnetizată

Câmpul magnetic este un câmp vectorial care acționează asupra unui conductor de lungime $\vec{L}$ parcurs de curentul electric de intensitate I cu o forță, numită **forță electromagnetică**:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$$

sau asupra unei particule încărcate electric cu sarcina q și aflată în mișcare cu viteza $\vec{v}$, cu o forță care se numește **forță Lorentz**:

$$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Mărimea fizică $\vec{B}$, numită **inducție magnetică**, este o mărime vectorială ce caracterizează câmpul magnetic și a cărei unitate de măsură, conform relației (VI.1), este:

$$[B]_{SI} = 1 \frac{N}{A \cdot m} = 1 \text{ T (Tesla)}$$

iar unitate tolerată este 1Gs (Gauss); $1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$. De exemplu: inducția câmpului magnetic terestru este cuprinsă între $0,21 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ la ecuatorul magnetic și $0,71 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ la polii magnetici.

Între polii unui electromagnet se pot obține câmpuri cu inducția cuprinsă între 1 și 2 T, iar dacă electromagnetul este supraconductor: $B = 7 - 8 \text{ T}$.

Dacă asupra unei sarcini electrice q ce se mișcă cu viteza $\vec{v}$ acționează simultan un câmp electric de intensitate $\vec{E}$ și un câmp magnetic de inducție $\vec{B}$, atunci forța de interacțiune are expresia:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

expresie care constituie **forma generală a forței Lorentz**.

4.2 Câmpul magnetic terestru

Pământul este considerat într-o primă aproximație ca un magnet uriaș ce creează un câmp magnetic cu distribuție uniformă. Acest câmp magnetic, numit **câmp geomagnetic**, va determina orientarea întotdeauna pe aceeași direcție a unui ac magnetic suspendat în centrul său de greutate.

Câmpul geomagnetic poate fi aproximat ca fiind câmpul unui dipol magnetic așezat în centrul planetei, axa sa formând un unghi de 12° cu axa de rotație a Pământului, Fig. 4.2.

Punctele în care axa dipolului înțeapă suprafața Pământului constituie polii magnetici; polul S (boreal) așezat în apropierea polului nord geografic și polul N (austral) situat în emisfera sudică. Liniile de inducție ale câmpului geomagnetic ies din emisfera sudică și intră în

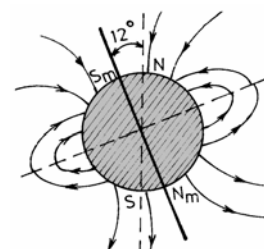


Fig. 4.2 Liniile câmpului geomagnetic

emisfera nordică a Pământului.

Ansamblul fenomenelor magnetice care sunt legate de câmpul magnetic terestru poartă numele de **magnetism terestru**.

Se consideră structura complexă a magnetismului terestru este datorată suprapunerii a două componente:

- un **câmp geomagnetic principal** produs prin deplasarea curenților termoelectrice de materie fluidă localizați la limita nucleu - manta în interiorul Pământului. Acest câmp magnetic suferă variații temporale foarte lente care prezintă o periodicitate de câteva sute de ani;

- un **câmp geomagnetic instantaneu** suplimentar determinat de existența particulelor încărcate electric din straturile superioare ale atmosferei (ionosfera). Această componentă suferă variații diurne destul de regulate, variații ce se datorează rotirii, odată cu Pământul, a particulelor electrice din atmosferă.

Câmpul magnetic terestru dintr-un anumit loc este definit de următoarele mărimi:

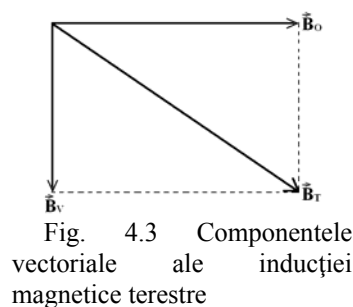
- **declinația magnetică**; reprezintă unghiul format de planul meridianului magnetic cu cel geografic și se poate determina cu ajutorul **busolei de declinație**;

- **înclinația magnetică** care reprezintă unghiul format de vectorul inducție magnetică terestră cu planul orizontal și care se determină cu ajutorul **busolei de înclinație magnetică**;

- **componenta orizontală a inducției magnetice terestre**.

Inducția magnetică terestră $\vec{B}_T$ are două componente în planul meridianului magnetic: una verticală $\vec{B}_V$ și alta orizontală $\vec{B}_O$, Fig. 4.3,

$$\vec{B}_T = \vec{B}_V + \vec{B}_O$$



4.3 Impactul câmpului magnetic terestru asupra vieții

Din antichitate se cunoștea faptul că la suprafața Pământului acul magnetic se orientează strict într-o anumită direcție. Folosind această proprietate a fost construită busola ca instrument de orientare pe teren.

Experimental s-a stabilit faptul că orientarea acului magnetic al busolei strict pe o anumită direcție și într-un anumit sens se datorează câmpului magnetic al Pământului, numit și **câmp geomagnetic**. La început se credea că acul magnetic se orientează spre polii geografici ai Pământului. Mai târziu s-a constatat că, de fapt, acul magnetic e orientat spre polii magnetici ai Pământului care nu coincid cu cei geografici.

Studiul câmpului geomagnetic are o mare însemnătate științifică și practică. Călătorii care se orientează cu ajutorul busolei sunt nevoiți să țină seama de „variația magnetică” și să determine declinația magnetică adică distanța unghiulară dintre direcțiile spre „punctele” geografice și cele magnetice. Unghiul de corecție este de circa 12 grade, ceea ce nu este puțin la scară geografică.

În emisfera nordică, polul Sud magnetic al Pământului se află pe insula Melvill dintre Groenlanda și golful Hudson (America de Nord).

În emisfera sudică, polul Nord magnetic al Pământului și se află pe insula Victoria, în sud-estul Australiei.

Meridianele magnetice nu sunt atât de periodice și uniforme („drepte”), precum cele geografice. Ele sunt reprezentate pe hărți speciale prin linii numite **izogone**.

Deoarece polii magnetici ai Pământului nu coincid cu polii geografici, axa magnetică nu coincide cu axa polilor geografici, trecând la o distanță de circa 430 km de centrul Terrei, în emisfera de est. Este cunoscut faptul că polul Sud magnetic se află la distanța de circa 2100 km de polul Nord geografic al Pământului.

Razele cosmice. Din spațiul cosmic, de la Soare, pe Pământ sosesc fascicule de particule electrizate (electroni, protoni etc.), de energie mare, care formează așa numitele **raze cosmice**.

O explozie solară, de milioane de ori mai mare ca cea de la Hiroșima, bombardează Pământul cu radiații cosmice și unde electromagnetice. În apropiere de suprafața Pământului aceste particule

suferă influența câmpului magnetic terestru modificându-și traiectoria. Unele din ele care se îndreaptă către polii magnetici ai Pământului, se vor mișca aproape de-a lungul liniilor de câmp, înfășurându-se în jurul lor. Particulele încărcate care vin spre Pământ în apropierea planului ecuatorial, sunt orientate aproape perpendicular pe liniile de câmp și, drept urmare, sunt întoarse din drum. Numai cele mai rapide dintre ele pot atinge suprafața Pământului. De aceea intensitatea razelor cosmice ce ajung pe Pământ în apropierea ecuatorului este mai mică decât la latitudini mai mari. Astfel se explică strălucirea straturilor superioare ale atmosferei, produsă de emisia de particule încărcate de către Soare care se observă în special în regiunile polare, fenomen cunoscut sub numele de **auroră polară**.

Câmpul magnetic terestru formează centurile de radiație Van Allen descoperite în anul 1959 de Van Allen pe baza datelor obținute cu ajutorul sateliților artificiali. Aceste centuri sunt zone de acumulare a particulelor cosmice, datorită câmpului magnetic terestru care constituie ceea ce se numește o **capcană magnetică**.

Prima centură Van Allen se află la înălțimi cuprinse între 500 și 4 000 km, iar a doua (exterioară) este răspândită de la 6 000 la 60 000 km, Fig.4.4. Zborurile cosmice se fac astfel încât să ocolească centurile de radiație.

Poziția polilor magnetici ai Pământului variază cu timpul. De asemenea variază mărimile fizice ce caracterizează câmpul magnetic terestru în fiecare punct al globului. Unele centre europene de observație au întocmit hărți ce reflectă observațiile asupra **variațiilor seculare** ale câmpului geomagnetic, efectuate timp de circa 400 de ani. S-au înregistrat însă și modificări anuale, precum și zilnice ale mărimilor ce descriu acest câmp. Asemenea variații destul de mici se numesc **variații anuale** și **variații zilnice** ale câmpului geomagnetic.

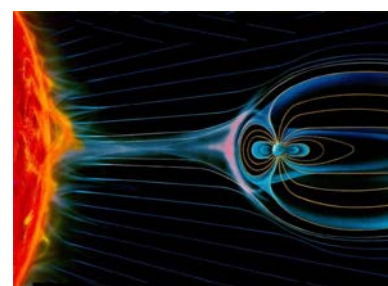


Fig. 4.4 Centurile de radiație Van Allen

Aceste variații periodice au loc destul de lent. Totuși, în anumite perioade, în timp de numai câteva ore parametrii câmpului geomagnetic se modifică brusc și suficient de puternic. Asemenea fenomene sunt numite **perturbații (furtuni) magnetice**. Aceste furtuni durează în medie 6-12 ore, apoi elementele magnetismului terestru revin la valorile obișnuite. Numărul furtunilor magnetice diferă de la an la an, însă numărul lor maxim se repetă odată la 11-12 ani.

Variațiile câmpului geomagnetic sunt în legătură cu fluctuațiile nucleului lichid al planetei. În timpul mișcărilor care se produc la nivelul acestui nucleu extern, valorile câmpului geomagnetic scad simțitor și nu mai acționează ca un scut împotriva radiațiilor emise de Soare sau a particulelor aduse de vânturile solare. Este și cauza avarierii mai multor sateliți ce au suferit dereglări electronice după ce au trecut prin zona Atlanticului de Sud, unde se înregistrează cele mai slabe valori ale câmpului magnetic. Ceea ce înseamnă că orice aparatură ce funcționează pe baza undelor transmise de sateliți ar putea ceda o dată cu defectarea acestora.

Conform celor mai recente date, viteza deplasării polilor magnetici crește. Astfel, dacă în anii '70 ai secolului al XX-lea viteza polului Sud magnetic era de 10 km/an, în 2002 această viteză era de 40 km/an. Savanții presupun că aproximativ peste 40 de ani polul Sud magnetic se va afla în Siberia, Fig. 4.5.

Acest fenomen de migrare a polilor magnetici este un fenomen obișnuit. Specialiștii spun că în viitor polul Nord magnetic va continua să migreze și, cel mai probabil, se va întoarce înapoi pe teritoriul Canadei. Mai mult, chiar, variațiile câmpului geomagnetic determină inversări de polaritate, prin care polul Nord magnetic schimbă locul cu polul Sud magnetic, dar acest fenomen se produce mult mai rar.



Fig. 4.5 Migrația polului Sud magnetic în ultimii 400 de ani

În ultimii 150 de ani inducția câmpului magnetic terestru a scăzut cu aproximativ 10%. Aceasta este o rată a descreșterii în cazul în care se întâmplă inversarea polilor câmpului magnetic. Au existat cel puțin 60 de inversiuni în ultimii 30 – 40 milioane de ani. În termeni geologici este un fenomen destul de frecvent. La scară umană, însă, este foarte rar.

De vreme ce mai mult de dublul intervalului de timp a trecut de la ultima inversiune, în comparație cu timpul scurs între cele două inversări anterioare, unii cred că următoarea inversiune magnetică Nord – Sud va avea loc foarte curând. Dar, deși intervalul dintre inversarea câmpului magnetic al Terrei poate fi de numai 5.000 de ani, el poate fi chiar și de 50 milioane de ani. Se pare că nu există nici o lege care să guverneze comportamentul planetei din acest punct.

Nu doar direcția, dar și valoarea inducției câmpului magnetic a suferit modificări considerabile. Pe vremea dinozaurilor se pare că acesta era circa 2,5 Gs, cu 80% mai puternic decât este în prezent, putând fi unul dintre motivele pentru care asemenea forme de viață gigantice au putut exista. Este unanim acceptat că un eveniment catastrofic a pus capăt domniei reptilelor gigantice. Talia mai mică a animalelor din ziua de azi s-ar putea datora declinului treptat al „stării de echilibru” al magnetismului terestru.

În secolul trecut, câmpul magnetic al Terrei a scăzut cu alte 5 procente, ajungând la numai 0,5 Gs. Aceasta a dus la identificarea „unui sindrom al deficienței geomagnetice”, care are drept rezultat stresul biologic cauzat de slăbirea „bazei energetice” a vieții. Slăbirea magnetismului pământului este unul dintre factorii despre care se crede că indică inversiunea polilor.

Inversiuni ale polilor câmpului geomagnetic care au avut loc în trecut, este un fapt confirmat și de datele geologice. Ceea ce este neclar este cât de precis are loc tranziția, și ce se petrece cu extinderea formelor de viață la momentul aceste schimbări.

Analizând această viziune înspăimântătoare, NASA consideră că, mai degrabă decât să ajungă la zero gauss, câmpul geomagnetic va deveni probabil foarte dezordonat. Astfel, pentru o perioadă scurtă, s-ar putea să avem pe planetă mai mult de un pol sud sau nord. Totuși, chiar dacă mijloacele de comunicație nu ar funcționa parțial sau total, oamenii și-ar putea găsi mijloace de supraviețuire. Pentru susținerea teoriei inversiunii dezordonate sunt aduse dovezi geologice, care arată că în inversiunile trecute declinul nu a fost complet.

Teoria care spune că activitatea în centrul de fier topit al planetei generează câmpul geomagnetic este dominantă printre oamenii de știință. O activitate furtunoasă, care are loc adânc, în nucleul exterior al pământului, care este plin de centrii de convecție ai fierului topit, se crede că generează câmpul magnetic al planetei. Asemenea clocotiri violente afectează și mantaua, deranjând crusta terestră și provocând cutremure.

În timpul inversiunii polilor câmpului geomagnetic toate mecanismele electronice ar fi în pericol: toți sateliții ce orbitează în apropierea Terrei ar putea fi grav afectați sau ar putea fi complet pierduți, la fel ca și stația spațială.

Efectele asupra formelor de viață ar putea varia de la pierderea direcției de către păsările călătoare, până la declinul sistemului imunitar sau chiar decese cauzate de cancer indus de radiații.

Prin pierderea stratului geomagnetic protector, atmosfera s-ar extinde și ar deveni mai subțire, putând duce la rău de înălțime în apropierea nivelului mării. Pentru că nu mai sunt filtrate, razele cosmice devin mortale în cea mai mare parte, probabil pentru toate formele de viață de la suprafață. Numai cele care ar locui în peșteri adânci ar fi în siguranță. Acest scenariu i-a făcut pe unii să construiască buncăre subterane, în speranța că vor supraviețui.

Uneori se consideră că doar variațiile puternice ale câmpului geomagnetic ar putea influența organismul uman, prin schimbarea temperaturii corpului, modificarea elasticității membranelor ce protejează creierul sau modificări la nivelul neuronilor. Aceasta vine în contradicție cu opiniile unor psihologi care consideră că omul este profund influențat și de fluctuațiile câmpului geomagnetic. Ființa umană primește energie de atât de la Pământ cât și de la Soare. Omul se poate menține sănătos din punct de vedere psihic și fizic dacă energia pe care o are corpul său este în concordanță cu cea primită de la natură.

Capitolul 5. Producerea și propagarea undelor electromagnetice. Poluarea electromagnetică

5.1 Câmpul electromagnetic. Undele electromagnetice

Undele electromagnetice, anticipate de fizicianul englez Michael Faraday (1791-1867), prin descoperirea fenomenului de inducție electromagnetică în anul 1831, prezise teoretic de fizicianul englez J. C. Maxwell (1831-1879) în anul 1865 și confirmate experimental de fizicianul german H. Hertz (1857-1894), 23 de ani mai târziu (1888), au devenit în ultima sută de ani predominante în ceea ce înseamnă activitatea umană în sfera cunoașterii. De amintit faptul că Hertz, după descoperirea lor, s-a întrebat dacă acestea vor servi la ceva.

La baza teoriei electromagnetismului, teorie care studiază producerea și propagarea undelor electromagnetice, se află patru ecuații fundamentale cunoscute sub numele de **ecuațiile lui Maxwell**. Acestea sunt reprezentate de:

- **Legea lui Gauss pentru câmpul electric**; fluxul câmpului electric printr-o suprafață închisă este dat de raportul dintre sarcina electrică conținută în interiorul acestei suprafețe și permitivitatea electrică a mediului;

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon}$$

- **Legea lui Gauss pentru câmpul magnetic**; fluxul câmpului magnetic printr-o suprafață închisă este zero;

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

- **Legea inducției lui Faraday**; circulația câmpului electric pe o curbă închisă este dată de viteza de variație a fluxului câmpului magnetic prin suprafața ce se sprijină pe curba închisă;

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

- **Legea lui Ampère - Maxwell**; circulația câmpului magnetic pe o curbă închisă este dată de viteza de variație a fluxului câmpului electric prin suprafața ce se sprijină pe curba închisă;

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu\epsilon \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Dacă legea lui Faraday caracterizează producerea unui câmp electric variabil folosind un câmp magnetic variabil, legea lui Ampère - Maxwell caracterizează fenomenul invers, adică obținerea unui câmp magnetic variabil cu ajutorul unui câmp electric variabil.

Ansamblul celor două câmpuri, electric și magnetic, variabile în timp și care se generează reciproc, constituie câmpul electromagnetic.

Maxwell a demonstrat că intensitatea câmpului electric ca și inducția câmpului magnetic satisfac ecuații asemănătoare. Într-adevăr, pentru mediul fără surse, pornind de la ecuațiile lui Maxwell se obține:

$$\nabla^2 \vec{E} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

respectiv:

$$\nabla^2 \vec{B} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

Se observă că atât intensitatea câmpului electric $\vec{E}$ cât și inducția câmpului magnetic $\vec{B}$ satisfac același tip de ecuație, analogă cu ecuația de propagare a undelor mecanice:

$$\nabla^2 \Psi - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

Comparând cele patru ecuații diferențiale cu ecuația de propagare a undelor mecanice, Maxwell a constatat că cele patru mărimi care caracterizează câmpul electromagnetic sunt funcții variabile în timp care se propagă cu viteza:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Deci, *dacă într-o regiune din spațiu se creează un câmp electric variabil în timp, acesta generează la rândul lui un câmp magnetic tot variabil în timp și reciproc, cele două câmpuri formând câmpul electromagnetic, care se propagă în spațiu sub formă de unde numite unde electromagnetice.*

Această constatare făcută pentru prima dată de Maxwell, îndrăzneță pentru acel timp (1865), a constituit actul de naștere al teoriei electromagnetismului care, după aproape 20 ani au fost confirmate experimental de H. Hertz.

La această constatare făcută de Maxwell, contestată de contemporanii săi, s-a adăugat încă una, tot a lui Maxwell, mai îndrăzneță, referitoare la natura electromagnetică a luminii; Maxwell a calculat viteza undelor electromagnetice în vid:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = c$$

adică viteza luminii în vid. Deci și *lumina este o undă electromagnetică.*

Cele două componente ale unde electromagnetice, câmpul electric, $\vec{E}$, și câmpul magnetic, $\vec{B}$, sunt perpendiculare pe direcția de propagare, adică unda electromagnetică este transversală.

În plus, vectorul câmp magnetic este perpendicular pe planul format de direcția de propagare și vectorul câmp electric. Deoarece, când $B = 0$ atunci și $E = 0$, adică cei doi vectori oscilează în fază, Fig. 5.1.

Ansamblul tuturor undelor electromagnetice: curentul alternativ, undele hertziene, razele infraroșii, spectrul vizibil, razele ultraviolete, radiațiile X, radiațiile γ și radiațiile cosmice, constituie spectrul electromagnetic.

Contribuția lui Maxwell pentru înțelegerea fenomenelor electromagnetice poate fi considerată una din cele mai înalte culmi atinse de om în procesul cunoașterii. Prin ecuațiile lui, Maxwell a realizat o sinteză a interacțiunilor electrice și magnetice, una din cele mai grandioase sinteze în fizică. În literatura de specialitate această sinteză este socotită ***prima unificare teoretică a fenomenelor fizice (electrice și magnetice).***

Deoarece cele două câmpuri, electric și magnetic, înmagazinează energie, se pune problema transportului de energie realizat de undele electromagnetice.

Considerând o regiune din spațiu, de volum V și delimitată de suprafața S , prin care se propagă o undă electromagnetică, se calculează că energia totală W transportată de unda electromagnetică în interiorul acestei suprafețe are expresia:

$$W = \frac{\epsilon}{2} \int_V \vec{E}^2 dv + \frac{1}{2\mu} \int_V \vec{B}^2 dv$$

Deoarece cele două câmpuri sunt funcții de timp, atunci variația în timp a energiei unde electromagnetice are expresia:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{s} - \int_V \sigma \cdot \vec{E}^2 \cdot dv$$

unde:

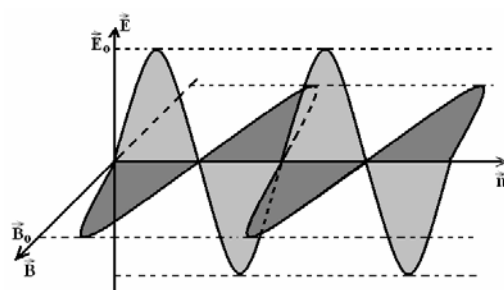


Fig. 5.1 Forma unde electromagnetice

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{B}$$

reprezintă **vectorul lui Poynting**, iar σ **conductivitatea mediului**.

Această relație stabilește faptul că energia transportată de o undă electromagnetică, într-o regiune de volum V și delimitată de o suprafață S , scade în timp, viteza de scădere fiind determinată de două mecanisme:

- transport de energie în exteriorul regiunii considerate, caracterizat de prima integrală care reprezintă fluxul vectorului lui Poynting, adică fluxul de energie electromagnetică prin suprafața închisă ce delimitează regiunea;
- pierderea de energie prin efect Joule, sub formă de căldură, caracterizată de cea de-a doua integrală.

5.2 Sursele electromagnetice

5.2.1 Sursele naturale electromagnetice.

Activitatea tuturor sistemelor organizate biologic se desfășoară într-un univers supus acțiunii unei multiple și variate game de unde, de la cele sesizabile direct cu simțurile noastre și care de altfel ocupă o plajă spectrală foarte îngustă, până la cele sesizabile doar prin intermediul aparaturii.

Soarele, cel mai puternic emițător pentru Pământ, pe lângă radiația corpusculară cauzatoare, printre altele, a aurorelor polare, produce unde electromagnetice, majoritatea dintre ele nepenetrante (93%), formate din unde radio ($\lambda = 0,001 \div 3 \cdot 10^7 \text{ m}$), unde IR ($\lambda = 0,76 \mu \div 0,1 \text{ mm}$) și unde luminoase ($\lambda = 0,40 \mu \div 0,76 \mu$), în timp ce undele penetrante (7%) sunt formate din unde UV ($\lambda = 1000 \div 4000 \text{ Å}$), Röntgen ($\lambda = 0,1 \div 1000 \text{ Å}$) și gamma ($\lambda = 0,001 \div 1 \text{ Å}$).

Atât radiațiile electromagnetice de origine solară cât și cele cosmice la impactul cu atmosfera terestră exercită o presiune asupra acesteia, comprimând-o pe aceeași direcție cu direcția lor de propagare. Componentele penetrante (UV, X, gamma) sunt absorbite, în timp ce componentele nepenetrante (undele hertziene, cu excepția celor de $0,1 - 10 \text{ m}$) sunt deviate de ionosferă, iar altele (IR, vizibil) tranzitează atmosfera.

O altă radiație electromagnetică naturală este emisă de Pământ. Cunoscută sub numele de **frecvență de rezonanță Schumann** și având frecvența de 7,8 Hz acționează benefic asupra a tot ce trăiește pe Pământ; de la celula simplă până la corpul uman. Mai mult chiar, creierul omului sănătos emite, în stare de relaxare sau de meditație, unde electromagnetice, de asemenea benefice, cu frecvența cuprinsă între 7 și 9 Hz și cunoscute sub numele de **unde Alfa**. Dacă apare o cât de mică iritabilitate acesta va produce unde de frecvențe mai mari.

5.2.2 Sursele antropice electromagnetice.

Liniile electrice de înaltă tensiune, de la 750 kV până la 1500 kV, sunt periculoase deoarece ele constant pierd energie; 40% din energia transportată se pierde în mediul înconjurător sub formă de radiație electromagnetică de frecvență foarte joasă. Organizația Mondială de Sănătate a publicat un raport în care se consideră efectele negative asupra mediului de același grad de toxicitate precum otrăvirea cu mercur sau cadmiu. Cu toate acestea nu există încă reguli privitoare la nivelul de radiație produs de liniile electrice de înaltă tensiune sau de curenții electrici.

Este periculoasă prezența în preajma **transformatoarelor electrice** sau sub liniile electrice de înaltă tensiune chiar pentru scurt timp; corpul uman, devenind o antenă vie, absoarbe puternic din energia radiației electromagnetice emisă de linia electrică, contribuind astfel la mărirea intensității câmpului electromagnetic local. Animalele de asemenea măresc intensitatea câmpului. O școală plină de copii sau un grup de muncitori care lucrează sub o linie electrică de putere poate deveni o sursă teribilă de câmp electromagnetic, nu numai pentru copii din școală, dar și pentru cei care locuiesc lângă școală.

Un alt caz de poluare electromagnetică îl reprezintă **antenele parabolice pentru satelit**. Aflate în preajma unei linii electrice, acestea amplifică câmpul electromagnetic de joasă frecvență din jurul liniei. De aceea se recomandă să nu se stea în preajma lor chiar când acestea sunt oprite.

Într-un **terminal video, tip CRT (tub catodic)**, există diferite tipuri de probleme, produse în special de transformatorul de înaltă tensiune. El poate crea câmpuri magnetice intense, de 10 mGs sau mai mari care, chiar la o distanță operare de circa 70 cm, au efecte negative. **Terminalele video moderne, tip LCD**, produc câmpuri electrice și magnetice de valori mici, practic fără efecte negative la distanța de operare obișnuită.

5.3 Măsurători ale câmpului electromagnetic

Utilizându-se detectoare și magnetometre electromagnetice performante, Fig. 5.2, Fig. 5.3, se poate evalua gradul de poluare electromagnetică măsurând inducția câmpului magnetic și intensitatea câmpului electric pentru câmpuri electromagnetice de joasă frecvență, respectiv densitatea de putere pentru câmpurile electromagnetice de înaltă frecvență (radiofrecvență).²



Fig. 1 Detectorul electromagnetic ESI 24³



Fig. 2 Magnetometrul TENMARS TM-190⁴

Valorile indicate de aparate se sunt reglementate pe trei categorii de expuneri⁵, prezentate în tabelul următor:

Tabelul 1

Gradul de expunere la câmp electromagnetic	Câmp magnetic (mGs)	Câmp electric (V/m)	Densitate de putere ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
Expunere precaută	< 1 mGs	< 10 V/m	< 100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
Expunere slabă	1 - 3 mGs	10 - 30 V/m	100 - 1000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
Expunere ridicată	> 3 mGs	> 30 V/m	> 1000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

De menționat faptul că unele dintre aceste valori oficiale de expunere sunt considerate în prezent de comunitatea științifică drept prea ridicate pentru a oferi o protecție adecvată sănătății umane și că se impune revizuirea lor, în sensul de coborâre a acestor valori cu cel puțin de 10 ori!

Însă cât timp ele sunt prevăzute de reglementările în vigoare, acest praguri au fost luate în considerație pentru cercetarea de față în aprecierea riscurilor la expunere electromagnetică.

5.4 Efectele biologice ale undelor electromagnetice

Dezvoltarea sistemelor biologice într-un mediu ambiant penetrat de o mare varietate de radiații electromagnetice naturale a condus la adaptarea în organismele vii a unor sisteme proprii de protecție, atingând uneori un înalt grad de perfecțiune.⁶

² L. Bujor, G. Sascău, E. Tololoancă, C. Dănciulescu - Măsurători ale câmpului electromagnetic (smogul electromagnetic) în municipiul București, *Universitatea Ecologică din București, Facultatea de Ecologie si Protecția Mediului*, 2018.

³ <https://www.yshield.com/eu/yshield-edition-epe-conseil-indicator-esi-24-hf-lf>

⁴ <https://www.yshield.com/eu/yshield-edition-tenmars-meter-tm-190-hf-lf>

⁵ <https://www.baubiologie.de/downloads/building-biology-guidelines-english.pdf>

⁶ D. Dănciulescu, C. Dănciulescu – Fizica mediului, Ed. LVS Crepuscul, București, 2013.

Problema care se pune frecvent de oamenii de știință, se referă la situațiile în care organismele vii sunt solicitate la stresul provocat de undele electromagnetice antropice, diferite atât prin frecvență cât și prin intensitate față de cele naturale.

Undele electromagnetice produse de emițătoare de putere au efecte devastatoare asupra organismului. În urma acțiunii lor asupra moleculelor din structura corpului uman rezultă radicali liberi. Aceștia se combină cu proteinele sau acizii nucleici din interiorul celulelor, fapt care duce la modificarea gravă a structurii lor. La nivelul leucocitelor (celulelor albe), radicalii liberi acționează, de asemenea, până la distrugere sau le diminuează capacitatea de apărare a organismului atacului altor surse exterioare de îmbolnăvire. Acizii nucleici – purtători ai informației genetice – constituie ținta principală a radicalilor liberi, fapt ce duce la apariția de mutații genetice și în final, la cancer.

Cea mai sensibilă structură anatomică la acțiunea undelor electromagnetice o reprezintă organul vizual - ochii, afectarea cristalinului ducând de cele mai multe ori la formarea cataractei.

Deoarece canalul auditiv uman nu are o protecție naturală împotriva expunerii la radiațiile electromagnetice, există un risc potențial de 100% în cazul expunerii la acestea, în special dacă ele sunt emise în zona pavilionului urechii. Undele electromagnetice emanate de telefoanele mobile au acces direct și neprotejat la canalul auditiv și prin intermediul acestuia, direct la creier. Efectele biologice negative pot apărea când fluxul electromagnetic absorbit de unitatea de suprafață aflată în câmp electromagnetic depășește valoarea de $0,1 \text{ mW/cm}^2$.

Pe lângă câmpurile electromagnetice produse artificial de activități antropogene, oamenii (dar și mediul) sunt influențați de variațiile câmpului geomagnetic al planetei. Oamenii care locuiesc lângă linii electrice de putere sunt afectați de acestea deoarece apare un sinergism între câmpul geomagnetic local și câmpul electromagnetic produs de linia electrică ca și de aparatele electrocasnice din apropiere, efectele intensificându-se astfel. Aceste efecte cumulate pot cauza serioase probleme de sănătate, în special când există variații ale câmpului geomagnetic.

„Au fost observate și corelații între expunerea la radiații electromagnetice și afecțiuni ale sistemului imunitar, cum ar fi de pildă sindromul oboselii cronice, precum și ceea ce este astăzi cunoscut sub numele de sindrom de sensibilitate electromagnetică (sau electro-hipersensibilitate) – o multitudine de simptome care cuprind: incapacitatea de concentrare, stare ușoară de panică, dezorientare, tulburări ale vederii, iritații ale pielii, slăbiciune musculară și chiar stări de leșin. Deloc surprinzător, cei mai mulți dintre cei ce acuză aceste simptome sunt operatorii PC, electroniștii, piloții, chirurgii și personalul din sălile de operații – adică acele persoane care lucrează în medii în care se emit continuu radiații electromagnetice – uneori și din mai multe surse, iar această aparatură a fost pusă la îndemâna populației fără să se fi cercetat dacă prezintă efecte negative asupra sănătății.”⁷

În data de 11 mai 2015, un grup de 190 de oameni de știință și cercetători, din 39 de țări, au semnat un apel adresat Organizației Națiunilor Unite (ONU) și Organizației Mondiale a Sănătății (OMS), prin care atrag atenția asupra efectelor negative ale câmpurilor electromagnetice asupra sănătății umane și solicită revizuirea normelor de protecție din acest domeniu.

Martin Blank, profesor doctor la Universitatea Columbia din S.U.A., Departamentul de Fiziologie și Biofizică Celulară, transmite în numele tuturor semnatarilor apelului următorul mesaj: sunt aici cu știri tulburătoare despre gadget-urile noastre preferate: telefoane mobile, tablete, Wi-Fi etc. Spunând lucrurilor pe nume, ele sunt dăunătoare celulelor vii din corpurile noastre și neucid prematur pe mulți dintre noi. Înainte de inventarea becului de către Edison, în mediul înconjurător radiațiile electromagnetice erau foarte puține. Nivelurile de astăzi sunt de foarte multe ori mai mari decât nivelurile de fond naturale și sunt în creștere rapidă, din cauza tuturor noilor dispozitive care emit această radiație. Un exemplu pe care mulți dintre noi îl avem chiar acum în buzunarele noastre este telefonul mobil.

Un studiu arată că răspândirea pe scară largă a utilizării telefonului mobil a condus la triplarea incidenței cancerului cerebral, fatal în special la persoanele mai tinere. Noi însă punem antene de

⁷ A. Drăgulescu – *Idolii fără fir, Telefonie mobilă și poluarea electromagnetică*, Ed. Christiana, București, 2010.

telefonie mobilă pe clădiri rezidențiale, precum și pe spitale, acolo unde oamenii se duc cu speranța de a se face bine. Utilitățile wireless și pilonii de telefonie mobilă ne acoperă cu o pătură de radiații.

Este deosebit de îngrijorător faptul că radiațiile emise în cadrul telecomunicațiilor alterează ADN-ul celulelor noastre. Este clar pentru mulți biologi că acest lucru poate constitui o explicație a creșterii incidenței cazurilor de cancer. Generațiile viitoare - copiii noștri - sunt expuși unui risc semnificativ. Acești biologi și oameni de știință sunt ignorați de comisiile care stabilesc standardele de siguranță. Faptele biologice sunt ignorate, și ca rezultat, limitele de siguranță sunt mult prea mari. Ele nu protejează!⁸

Expunerea la radiațiile electromagnetice în creștere este o problemă globală. Organizația Mondială a Sănătății și organisme de standardizare internaționale nu acționează eficient pentru a proteja sănătatea publică și starea de bine a populației.⁹

Liniile directe internaționale de expunere la câmpurile electromagnetice trebuie să fie modificate astfel încât să reflecte realitatea impactului acestora asupra corpului nostru și, în special, asupra ADN-ului uman. Deși suntem încă în plină transformare tehnologică, protejarea în fața efectelor nocive asupra sănătății este așteptată de mult timp. Facem parte, într-adevăr, dintr-un uriaș experiment biologic, fără să ni se fi cerut în prealabil consimțământul.

În concluzie, acțiunea câmpurilor electromagnetice de înaltă frecvență poate avea următoarele efecte principale:

- frecvențele de la 109 la 1.012 Hz sunt similare frecvențelor de oscilație a moleculelor proteice, celor de ADN și ARN, a membranelor și ale altor părți ale celulei, a tranzițiilor conformaționale în enzime - ceea ce dă posibilitatea absorbției prin rezonanță a undelor electromagnetice de înaltă frecvență;

- întregul corp poate avea frecvența lui proprie de rezonanță: de la celula vie la întregul organism;

- câmpurile de foarte înaltă frecvență, modulate la frecvențe joase, apropiate de ritmul creierului, a inimii sau a altor organe interne au o acțiune crescută;

- modulațiile de joasă frecvență, în domeniul 5-16 Hz, exercită un puternic efect negativ la oameni și animale;

- absorbția câmpului electromagnetic în punctele biologice active este de multe ori mai eficientă decât în alte zone de pe piele, iar această energie influențează organele interne și corpul ca întreg;

- în momentul diviziunii celulare, informația genetică devine mult mai vulnerabilă influenței câmpului electromagnetic de înaltă frecvență datorită mobilității mult mai mari a cromozomilor. Un câmp rezonant extern poate induce exprimarea unor gene conectate cu cancerul sau schimbări în programul dezvoltării celulei;

- manifestarea câmpurilor de înaltă frecvență depinde de condițiile de sănătate și vârstă: adulții sănătoși au sensibilitate minimă, în timp ce bătrânii și persoanele cu afecțiuni au sensibilitate maximă ce poate duce chiar la moarte;

- combinate cu alți factori nocivi, cum ar fi radiațiile ionizante, substanțele toxice, anomalii geomagnetice, stres, aceste efecte cresc considerabil;

- acumulările de anomalii în activitatea celulelor în timpul iradierii cronice sau periodice duc la dereglarea bioritmului, scăderea capacității de concentrare, somn neregulat și agitație; organismul uman nu este capabil să facă o recuperare eficientă;

- prin influența lor foarte mare asupra sistemului imunitar și hormonal, câmpurile electromagnetice de înaltă frecvență acționează negativ asupra mecanismelor de apărare și autoreglare a organismului amplificând astfel dereglările de altă natură;

⁸ <http://www.physiology.columbia.edu/MartinBlank.html>

⁹ L. Bujor, G. Sascău, E. Tololoancă, C. Dănciulescu – *Electromagnetic Pollution Assessment on the Ecological University of Bucharest Site*, Ecology of XXI Century, Proceedings of the International Conference of the Ecological University of Bucharest – EUB-2016, April 4-5, 2016, Bucharest, Romania, pg.114;

- este posibilă chiar apariția unei dependențe de tip narcotic din cauza stimulării producției de endorfine la expuneri regulate de câmpuri electromagnetice.

Numeroasele cercetări în domeniul efectelor biologice ale câmpului electromagnetic fac posibilă definirea celor mai sensibile sisteme ale corpului uman: nervos, imunitar, endocrin și reproductiv. Aceste sisteme ale organismului sunt de o importanță critică. Impactul și reacția acestora la poluarea electromagnetică trebuie evaluate cu precizie în considerarea riscurilor expunerii populației la radiații electromagnetice.

Se știe că melatonina, mediatorul chimic al glandei pineale este sintetizată și secretată astfel ca nivelul acesteia să fie crescut noaptea și scăzut în timpul zilei. Acest hormon are printre alte funcții și pe aceea de neutralizare a radicalilor liberi.

Studiile făcute în ultimii 15 ani au relevat că expunerea experimentală a animalelor la câmpuri electrice și magnetice (sinusoidale sau statice), pe perioade scurte (15 minute) sau lungi (42 zile) reduce nivelul maxim nocturn al melatoninei din sânge.

Motivul principal pentru care acest efect nociv al câmpurilor electrice și magnetice este de mare interes pentru studiu, decurge din faptul că nivelul redus de melatonină se poate corela cu incidența crescută a cazurilor de cancer raportată la o expunere mai mare decât cea ambientală.¹⁰

5.5 Consecințele folosirii telefonului mobil

Industria telecomunicațiilor a cunoscut o creștere rapidă la nivel global, ca o consecință directă a dezvoltărilor tehnologice. În acest domeniu, una dintre cele mai spectaculoase creșteri au avut-o telecomunicațiile mobile.

Deși a devenit o prezență obișnuită în peisajul noilor tehnologii, telefonია mobilă generează încă nesiguranță utilizatorilor. În timpul unei convorbiri telefonice, folosind telefonul mobil, temperatura corpului în straturile superioare ale pielii se poate mări cu maxim 0,5°C. Creșterea temperaturii are loc însă doar la convorbiri cu o durată foarte lungă de timp, efectele fiind vizibile cel mai devreme după o jumătate de oră de convorbire neîntreruptă. Efectele termice afectează corpul uman în mod serios abia după o încălzire locală constantă de 1°C. Excepție face ochiul; deoarece este străbătut de o cantitate mică de sânge nu poate redirecționa foarte bine efectele negative ale expunerii la temperatură și radiații. Se pot evita sau micșora efectele dacă se păstrează antena departe de ochi sau dacă se schimbă din când în când urechea în timpul convorbirilor mai lungi.

Efectele non-termice sunt date de influența undelor electromagnetice asupra țesutului celulelor și asupra sistemului nervos. Aceste unde influențează nivelul hormonal al omului. Printre altele, este afectat hormonul **melatonină** produs în epifiză, care reglează somnul și joacă un rol important în cadrul sistemului imunitar. Nivelul de melatonină crește de obicei în timpul nopții. Printr-un efect de lungă durată al undelor electromagnetice, poate fi micșorată producția de melatonină de peste noapte. Ca urmare, se observă schimbări ale stării de spirit, depresii, tulburări de somn și oboseală. De asemenea, poate apărea o sensibilitate imunitară crescută și predispoziție la cancer.

Undele emise de antenele GSM reprezintă o gamă de frecvențe bine definită (900 MHz în cazul Orange și Vodafone și 1800 MHz la Cosmote). Alte tipuri de frecvențe sunt deja utilizate de mai multe decenii, cu puteri mult mai ridicate decât cele ale antenelor acestor rețele. În mod normal, un emițător radio FM are o putere de radiație de până la o mie de ori mai mare, iar în cazul unui emițător TV, radiația se poate multiplica de până la o sută de mii de ori.

În conformitate cu prevederile Recomandării Comisiei Europene nr. 519/1999, în vederea limitării expunerii utilizatorului la câmpuri electromagnetice, valoarea limită admisă a Ratei de absorbție specifică localizat la cap și trunchi pentru telefoanele mobile, corespunzătoare gamei de frecvențe de la 10 MHz la 10 GHz, este de 2W/kg.

Rata de absorbție specifică (SAR). Este mărimea care exprimă absorbția medie pe ansamblul întregului corp sau pe o porțiune a corpului și care se definește ca rata cu care puterea

¹⁰ D. Dănciulescu, C. Dănciulescu - *Fizica Mediului (Ediție revizuită)*, Editura LVS Crepuscul, Ploiești, 2013.

este absorbită de unitatea de masă de țesut corporal; se exprimă în W/kg. Rata de absorbție specifică pentru ansamblul întregului corp este o mărime unanim acceptată pentru stabilirea legăturii dintre efectele termice adverse și expunerea la radiofrecvențe. Pe lângă valorile SAR pentru corpul întreg, sunt necesare și valorile SAR locale (pentru o porțiune a corpului) pentru evaluarea și limitarea acumulării excesive de energie în zone restrânse (mici) ale corpului, ca rezultat al unor expuneri în condiții speciale. În sensul art. 5 alin. din Ordinul nr. 1193/2006 emis de Ministerul Sănătății privind echipamentele radio și echipamentele terminale de telecomunicații valorile SAR sunt:

Banda de frecvență	SAR pe întregul corp (W/kg)	Valorile SAR locale (cap și trunchi) (W/kg)	Valorile SAR locale (membre) (W/kg)
10 kHz - 10 GHz	0,08	2	4

Creșterea impresionantă a abonaților a impus extinderea amplasamentelor antenelor de emisie – recepție GSM (microunde) pe blocurile de locuințe și, mai ales, la nivelul apartamentelor situate la ultimele etaje ale blocurilor. Acoperirea cât mai bună cu semnal în zonele locuite este o problemă foarte complicată pentru inginerii care răspund de planificarea rețelei operatorilor mobili. Nimic din ceea ce este pe hârtie nu se potrivește sută la sută în teren, unde apar reflexii, perturbații și toata gama de bruiaje posibile.

Studiul realizat de Institutul pentru Sănătate Publică, referitor la cauzele ce pot produce boli asupra utilizatorilor de telefoane mobile dar și asupra celor care stau în imediata apropiere a antenelor GSM, relevă o incidență crescută a simptoamelor de amețală, oboseală, probleme de memorie pentru aceia care stau în imediata apropiere a surselor de unde electromagnetice.

Studii epidemiologice făcute în Europa de Est au relevat o creștere marcantă în cazul simptoamelor neurastenice (oboseală, tulburări de somn, amețeli, dureri de cap etc.) la oamenii expuși la câmpuri electromagnetice. În ansamblu, însă, aceste studii nu au găsit date care să susțină convingător ipoteza conform căreia există un risc crescut de incidență a tumorilor cerebrale, a leucemiei sau a altui tip de cancer în corelație cu folosirea telefoanelor mobile. Aceste studii nu se pot pronunța în privința riscului folosirii pe termen lung a telefoanelor mobile și a expunerii zilnice sau cumulative la nivele înalte de radiație sau a apariției unor tipuri rare de tumori.

În condițiile unor asemenea rezultate, problema care se pune privește nivelul de expunere la care sunt fixate recomandările naționale și internaționale. Până acum, acestea au avut în vedere efectul termic observat al radiofrecvențelor, relevant din punct de vedere epidemiologic. Evaluarea riscurilor potențiale presupune însă căutarea altor mecanisme de acțiune. Atunci când am fixat un prag după evaluarea unui risc, s-ar prezuma că îl cunoaștem, ceea ce nu este cazul în prezent.

În România evaluarea expunerii generate de antenele fixe de retransmisie a semnalului de telefonie mobilă are loc doar la cerere, după criteriul proximității, iar rezultatele măsurătorilor sunt apreciate de organele sanitare în raport cu normele naționale, conforme celor europene și, oricum, situate la o medie departe de a înlătura orice suspiciune. În urma noilor date ce impun o prudență sporită la amplasarea antenelor în apropierea imobilelor locuite, până la reevaluarea normelor de expunere din această nouă perspectivă. Exemplul de mai sus confirmă încă o dată valabilitatea **principiului precauției**, în condițiile în care datele științei nu reușesc să stabilească exact riscurile la care ne supunem cu adevărat, prin expunerea tot mai îndelungată și intensă la emisiile indispensabilului mijloc de comunicare.

În concluzie, sfatul de care trebuie să țină cont un utilizator de telefon mobil, este: ***folosirea în exces a telefonului mobil poate dăuna grav sănătății!***

5.6 Cadru legislativ actual privind poluarea electromagnetică

Pentru a ne proteja, noi și ecosistemul nostru, trebuie să reducem expunerea la undele electromagnetice prin stabilirea unei legislații care să ofere mai multă protecție. Oamenii de știință din întreaga lume fac un apel către Națiunile Unite, către statele membre și Organizația Mondială a Sănătății, pentru a rezolva această criză globală de sănătate publică.

Pe plan internațional, în anul 1998 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) a publicat în Health Physics documentul Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), care a stabilit pentru prima oară restricții de bază pentru expunerea la emisii de unde electromagnetice până la frecvențe de 300 GHz. Se face precizarea că normele ICNIRP au caracter de recomandare, orice țară putând să își stabilească propriile norme, sub aceste valori.¹¹

În anul 2011, la nivel european, prin Rezoluția nr.1815 a Adunării Parlamentare a Consiliului Europei s-a discutat problema ridicată de Adunarea Parlamentară - prin documentul 12607 al Raportului Comisiei pentru mediu, agricultură și afaceri locale și regionale, privind pericolele potențiale ale câmpurilor electromagnetice și efectul lor asupra mediului, prin care se confirmă punctul de vedere al experților cu privire la riscurile semnificative determinate de nivelul tot mai mare al radiațiilor permanente.¹²

În România, au fost transpuse în legislația națională toate recomandările UE privind limitarea expunerii populației generale la câmpuri electromagnetice. Recomandarea Uniunii Europene 519/1999 a fost transpusă în Ordinul Ministrului Sănătății OMS nr.1193 din 29.09.2006 pentru aprobarea Normelor privind limitarea expunerii populației generale la câmpuri electromagnetice de la 0 Hz la 300 Hz, publicat în Monitorul Oficial nr.895/3 noiembrie 2006.

În anul 2016 Hotărârea de Guvern nr.520/2016, privind cerințele minime de securitate și sănătate referitoare la expunerea lucrătorilor la riscuri generate de câmpuri electromagnetice publicată în Monitorul Oficial nr.576 din 28 iulie 2016, vine în completarea H.G. nr.1136 din 30 august 2006, și stabilește cerințele minime pentru protecția lucrătorilor împotriva riscurilor pentru sănătatea și securitatea lor, care sunt generate sau care pot fi generate de expunerea la câmpuri electromagnetice la locul de muncă.¹³

¹¹ <http://www.agir.ro/buletine/2480.pdf>.

¹² <http://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-en.asp?fileid=17994>.

¹³ <http://www.mmuncii.ro/j33/images/Documente/Legislatie/HG520-2016.pdf>.

Capitolul 6. Impactul echipamentelor laser asupra mediului

6.1. Principiul de funcționare al laserului

După cum se știe, atomii și moleculele corpurilor se află într-o neconținută mișcare dezordonată, energiile lor cinetice medii depinzând numai de temperatură. Aceste energii au numai anumite valori (valori discrete) numite **stări energetice** sau **nivele energetice**. Absorbția sau cedarea energiei de către aceste particule are loc numai în cuante corespunzătoare tranziției între două stări energetice staționare.

Distribuția particulelor pe aceste stări energetice este de asemenea funcție de temperatură; la o temperatură dată, numărul atomilor aflați în stări energetice joase este mult mai mare decât al celor excitați pe nivele energetice superioare. Dacă temperatura corpului crește, distribuția se modifică, apărând mai mulți atomi pe nivele energetice superioare (atomi excitați). Pentru trei nivele energetice $E_1 < E_2 < E_3$, numărul de atomi care, la o temperatură dată, au energia corespunzătoare acestor trei nivele sunt în relația: $N_3 < N_2 < N_1$, adică nivelul cel mai înalt, E_3 , este cel mai puțin populat cu atomi excitați, iar nivelul cel mai de jos, este populat cu numărul cel mai mare de atomi, Fig. 6.1 a).

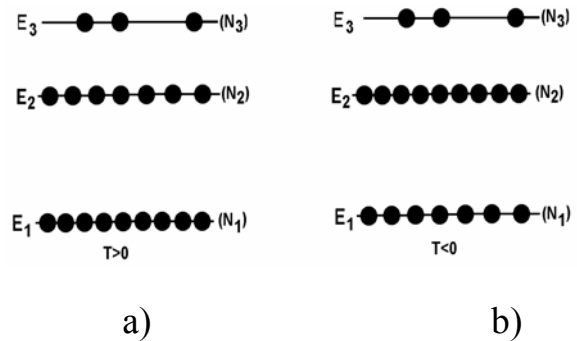


Fig. 6.1 Distribuția particulelor pe nivelele energetice

Aceasta este repartizarea obișnuită a atomilor unui corp aflat în echilibru termodinamic, la o temperatură dată. Ea este descrisă matematic printr-o relație care reprezintă **legea de distribuție a lui Boltzmann**. Astfel, pentru o temperatură T , între numărul N_2 de atomi de pe nivelul de energie E_2 și numărul N_1 al celor aflați pe nivelul inferior E_1 ($E_2 > E_1$) există relația:

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}$$

unde k este **constanta lui Boltzmann**; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. Evident, dacă $E_2 > E_1$, atunci $N_2 < N_1$, deoarece temperatura absolută T este totdeauna o mărime pozitivă. Mărind temperatura corpului, numărul N_2 de atomi excitați pe nivelul superior E_2 crește, dar nu va putea niciodată deveni mai mare decât N_1 . Chiar în cazul în care $T \rightarrow \infty$, N_2 tinde să devină egal cu N_1 (deoarece $e^{1/\infty} \rightarrow 1$), dar nu mai mare. Așadar, în condiții obișnuite, de echilibru termodinamic, nu se poate obține pe cale termică $N_2 > N_1$.

Dacă, pe o altă cale, s-ar putea popula mai mult nivelul 2 decât nivelul 1, adică s-ar realiza o **inversiune de populație** între nivelele E_2 și E_1 , Fig. 6.1 b), atunci din relația anterioară se obține formal o **temperatură absolută negativă**. Într-adevăr, logaritmând această relație, se obține:

$$T = -\frac{E_2 - E_1}{k \cdot \ln \frac{N_2}{N_1}} < 0$$

Însă noțiunea de temperatură absolută negativă nu are sens în termodinamică, unde sunt studiate numai stările de echilibru. Stările cu temperatură negativă sunt stări de neechilibru termodinamic, legate, după cum se vede, de schimbarea forțată a populațiilor pe nivele de energie. Această situație este interpretată de fizica statistică în care sunt studiate și stările de neechilibru.

Fenomenul de inversiune a populațiilor între două nivele energetice ale unui sistem fizic, stă la baza fenomenului de **emisie stimulată a luminii**.

Un atom aflat în starea de energie superioară E_2 poate reveni pe un nivel inferior E_1 fie spontan, emițând o cantă luminoasă de energie:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

fie ca urmare a interacțiunii cu un foton de frecvență egală cu cea corespunzătoare cuantei emise spontan;

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

Primul fenomen se numește **emisie spontană**, iar cel de-al doilea – **emisie stimulată** sau **indusă**, uneori fiind numit și **emisie forțată**.

Emisiile spontană și stimulată au fost studiate prima dată de Albert Einstein în 1917. Evident, în cazul emisie stimulată, pe lângă fotonul incident, mai apare încă unul, de aceeași energie și în fază cu primul. Acesta, la rândul său, ar putea provoca apariția unui alt foton, când întâlnește un nou atom în starea E_2 și așa mai departe, încât se poate obține astfel o amplificare a radiației incidente, dacă în proba iradiată se găsesc destul de mulți atomi în starea superioară E_2 .

În realitate, fenomenul de amplificare, practic, nu există deoarece nivelul superior E_2 fiind mai puțin populat decât E_1 la iradierea unei substanțe fotonii incidenti vor interacționa cu numeroșii atomi aflați în starea energetică E_1 . Această interacțiune duce la excitarea atomilor în starea energetică E_2 . În starea excitată un atom stă un timp limitat, numit **viață medie a stării excitate**, după care revine în starea de energie inferioară E_1 fie prin cedarea energiei $E_2 - E_1$ atomilor vecini sub formă de căldură (**tranziție neradiativă**), fie prin emisia unui foton (**tranziție radiativă**). Acest nou foton poate ieși din corpul iradiat sau poate fi la rândul său absorbit în urma altor procese de excitare. Deci, în condiții normale, din corpul iradiat va ieși în unitatea de timp un număr de fotoni mai mic decât cel incident și astfel radiația incidentă va fi totdeauna slăbită în urma trecerii ei prin corpul respectiv.

Pentru obținerea unei emisii stimulate intense trebuie ca N_2 să fie cât mai mare față de N_1 . În acest scop s-au dezvoltat o serie de metode de inversiune de populație între aceste două nivele, care au dus la obținerea de dispozitive numite **generatoare cuantice**. Ele mai poartă și alte denumiri ca:

- **Maser**, de la inițialele cuvintelor în limba engleză: “**M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation”, care lucrează în domeniul microundelor electromagnetice;

- **Iraser**, de la “**I**nfrared **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation”, pentru radiațiile infraroșii;

- **Laser**, de la “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation”, în domeniul spectrului vizibil.

S-a propus denumirea generală de **Maser**, de la „**M**olecular **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation” pentru toate domeniile de unde: maseri hertzieni, maseri în infraroșu, maseri optici.

Pentru contribuțiile aduse la dezvoltarea acestui domeniu, fizicienilor C.H. Townes, N.G. Basov și A.M. Prokhorov li s-au decernat premiul Nobel în 1964.

În laseri s-a obținut inversiunea de populație prin utilizarea nivelelor metastabile existente în substanță, Fig. 6.2. Prin absorbția unui foton de energie $h\nu_{1-4}$ (proces numit de Kastler în 1950 **pompaj optic sau fonic**) atomul trece de pe nivelul energetic E_1 pe nivelul energetic superior E_4 . De pe acest nivel atomul trece prin tranziție spontană pe nivelul apropiat E_3 , care este un **nivel metastabil**. Deoarece de pe un nivel metastabil un atom nu poate trece în mod spontan pe un nivel energetic inferior, atomul rămâne pe acest nivel până când o undă electromagnetică de frecvență ν_{3-2}

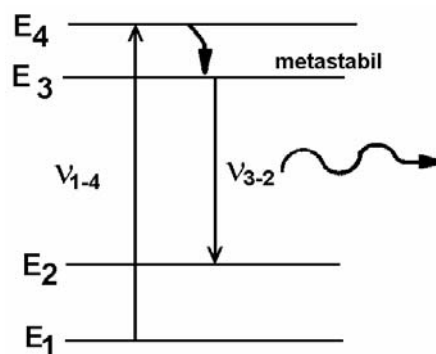


Fig. 6.2 Inversiunea de populație pe nivele metastabile

pătrunde în substanța respectivă. Prin inducție atomul trece pe nivelul E_2 , emițând un foton cu aceeași frecvență ν_{3-2} . Aceasta este radiația stimulată, produsă în fază cu radiația incidentă și amplificată în substanța respectivă.

Pe lângă emisia stimulată se produc și alte emisii prin trecerile spontane între alte nivele. Aceste emisii constituie fondul de “zgomot” care trebuie să fie cât mai mic față de emisia stimulată.

Pentru a obține amplificarea radiației laser se folosește **metoda rezonatorului**. Cel mai utilizat rezonator este **etalonul Fabry-Perot**, Fig. 6.3. Substanța în care se obține efectul laser, numit **mediu activ** sau **cavitate rezonantă**, M, solid sau gazos, este delimitat de două suprafețe plane paralele S_1 și S_2 cu straturi cu coeficient de reflexie mare.

Acestea permit reflexia multiplă a razelor între ele obținându-se un fascicul paralel de mare intensitate, monocromatic și în fază și care, apoi, poate fi concentrat în focarul unei lentile.

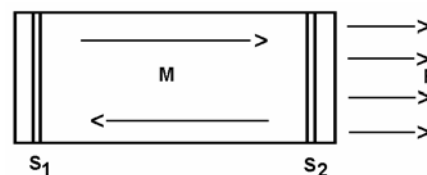


Fig. 6.3 Schema etalonului Fabry-Perot

6.2 Proprietățile radiației laser

Folosirea radiației laser este facilitată de proprietățile specifice acestea: coerența, monocromaticitatea, direcționalitatea, intensitatea.

a) **coerența**; acest concept este strâns legat de fluctuațiile valorilor amplitudinii câmpului electromagnetic generat în procesul de emisie stimulată. Explicarea coerenței se poate face luându-se în considerare fenomenul de interferență. Astfel, considerând două unde, provenite din două puncte diferite din spațiu, dacă, în urma fenomenului de interferență, apar franje de interferență, atunci cele două unde sunt coerente.

Folosind două fante plasate în cale unui fascicul laser se obțin franje de interferență. Acestea pot indica mărimea coerenței între fasciculele de lumină a difractate de cele două fante prin mărimea numită **vizibilitate**, V :

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

unde $I_{\max}$, $I_{\min}$ reprezintă intensitatea maximelor, respectiv a minimelor vecine din regiunea de interferență. Pentru $V = 1$, adică $I_{\min} = 0$, coerența este perfectă (totală), iar pentru $V = 0$, adică $I_{\max} = I_{\min}$, undele sunt necoerente.

b) **monocromaticitatea**; este una din proprietățile importante ale radiației laser, fiind determinată de procesul de emisie stimulată, lărgimea spectrală a radiației emise fiind: $\nu_0 \pm \Delta\nu$, unde: $\nu_0 \sim 10^{15}$ Hz, iar $\Delta\nu = 10^9$ Hz. Se observă monocromaticitatea extraordinar de pronunțată pe care o poate realiza efectul laser, față de lărgimea foarte mare obținută cu sursele obișnuite.

c) **direcționalitatea**; divergența surselor obișnuite de lumină este mare datorită dimensiunilor lor finite. Punctele sursei emit raze sub diferite unghiuri față de axa optică a unui sistem optic. Divergența fasciculelor determinate de aceste raze este determinată atât de dimensiunile sursei de lumină, cât și de distanța focală a obiectivului de focalizare.

În cazul laserului, datorită specificului producerii radiației laser, aceasta are o bună direcționalitate. Datorită formei speciale a cavității de rezonanță, de tip Fabry-Perot, undele se reflectă de un foarte mare număr de ori pe suprafețele reflectatoare de la capetele cavității și deci sunt amplificate numai acele unde care se propagă de-a lungul axei optice a cavității; undele care se formează sub un unghi oarecare cu axa optică se vor reflecta de un număr mic de ori, după care vor ieși din cavitate prin pereții laterali, fără să participe la efectul de amplificare.

Semnalul laser este deci constituit numai din undele care se propagă paralel cu axa optică a cavității. Din această cauză, el va fi extrem de direcțional. Unghiul de divergență măsurat până în

prezent este cuprins între 3° și 1° pentru laserii cu mediu activ solid și sub un minut pentru laserii cu mediu activ gazos.

Coerența și direcționalitatea semnalului emis de laser fac ca acest dispozitiv să fie echivalent cu o sursă de lumină punctuală, deși suprafața de emisie a acestuia are o întindere apreciabilă, cuprinsă între $0,2 \text{ cm}^2$ pentru laserul cu rubin și aproximativ 1 cm^2 pentru laserii cu gaz. Drept urmare, folosind interferometrul Michelson se pot obține figuri de interferență, cu un bun contrast al franjelor, la distanțe de sute de metri, în timp ce în cazul utilizării surselor monocromatice clasice, franje de interferență se obțin cu greu la distanțe mai mari de un metru.

d) **intensitatea**; sursele obișnuite, având o strălucire limitată, se folosesc la un număr restrâns de aplicații. Ori cât de mare ar fi temperatura lor, acestea nu pot emite mai multă energie decât radiatorul perfect: corpul negru.

În procesul emisiei stimulate care stă la baza efectului laser, sistemele atomice excitate emit rapid și sincron, nu cum se petrece în mod normal, ceea ce – împreună cu proprietatea de direcționalitate – conduce, pentru radiația generată de dispozitivele laser, la densități de radiație neobișnuite.

Pentru a aprecia valoarea intensității radiației laser, aceasta se poate compara cu strălucirea suprafeței Soarelui, care se comportă asemănător unui corp negru la temperatura de 6000 K. Radiația totală a suprafeței solare de-a lungul întregului spectru emis are o densitate a puterii de 7 kW/cm^2 . Aparent ea pare o valoare mare, dar ținând cont de lărgimea uriașă a spectrului solar, maximul puterii emise este extrem de mic în comparație cu puterea emisă de un laser.

Într-adevăr, un laser cu rubin lucrând în impulsuri dă o putere de ordinul a 1 kW pentru un interval de timp de 10^{-3} s , iar aceasta este distribuită în interiorul unei lărgimi de bandă de $0,07 \text{ Å}$ și provine de la o arie de $0,2 \text{ cm}^2$. Pe de altă parte, puterea emisă de un corp negru aflat la temperatura de 6000 K, pentru aceeași arie și interval de lungimi de undă, este de numai 0,01 W. În plus, radiația emisă de suprafața corpului negru este distribuită în interiorul unei sfere, adică în interiorul unui unghi solid de 2π steradiani, în timp ce lărgimea unghiulară a fasciculului laser este mai mică decât o jumătate de grad, adică $\sim 10^{-2}$ radiani sau sub un unghi solid de 10^{-4} steradiani. În interiorul acestui con și în același interval de lungimi de undă $0,07 \text{ Å}$ corpul negru (soarele) emite o putere de numai $2 \cdot 10^{-7} \text{ W}$.

Prin urmare, rezultă că emisia laserului cu rubin cu funcționare în impuls este de aproximativ $5 \cdot 10^9$ ori mai strălucitoare decât o arie echivalentă a suprafeței solare. Acest raport devine cu atât mai remarcabil cu cât fasciculele laser sunt mai direcționale și monocromatice, ceea ce, este cazul laserului cu gaz.

6.3 Acțiuni distructive ale radiației laser

6.3.1 Acțiunea radiației laser asupra materialelor și aparaturii.

Laserii de înaltă energie sau cu putere de radiație mare reprezintă o nouă clasă de arme periculoase. Chiar și laserii de putere mică pot fi folosiți ca armă, întrucât radiația lor poate fi suficientă pentru a provoca distrugerea sau înrăutățirea funcționării unor dispozitive optice.

Acțiunea radiației laser asupra materialelor și aparaturii depinde atât de caracteristicile proprii laserului utilizat, cât și de cele ale substanțelor din care este alcătuit obiectul spre care este dirijată această radiație.

În general, sub acțiunea radiației laser cu o intensitate suficient de mare pentru a provoca distrugere, materialele trec prin trei stadii:

- absorbția energiei radiației laser, însoțită de încălzirea materialului;
- conversia fazei solide în fază lichidă;
- difuzia fazei lichide și evaporarea.

Prima fază duce la distrugerea materialului prin modificarea proprietăților, crearea de fisuri, distrugerea stratului superficial și a calităților suprafeței exterioare.

Cea de-a doua fază, de trecere a substanței solide într-o fază lichidă, este însoțită de o evaporare intensă, însoțită de formarea de cavități. Totodată, drept rezultat al acțiunii radiației laser asupra materialului, se vor forma produse de dezagregare, lichide și gazoase, care absorb cu ușurință fasciculul laser, creându-se astfel un ecran specific care împiedică continuarea procesului distructiv. Distrugerea cu radiație laser a unor obiecte în mișcare ca mare viteză este mai eficace decât în cazul obiectelor nemișcate, deoarece la obiectele aflate în mișcare produsele de dezagregare sunt îndepărtate de curenții de aer creați de mișcarea obiectelor.

6.3.2 Acțiunea biologică a radiației laser.

Radiația laser are o influență nefavorabilă asupra materiei vii, modificând sau distrugând funcțiile acesteia. Cele mai sensibile organe ale corpului uman la acțiunea radiației laser sunt, în ordine, organele vizuale, țesuturile musculare și sistemul nervos central.

Efectul radiației laser asupra țesuturilor vii constă în creșterea temperaturii porțiunii iradiată prin absorbția și conversia energiei luminoase de către celule și țesut și dintr-o acțiune dinamică asemănătoare celei dată de o explozie internă, prin creșterea instantanee a temperaturii zonei iradiată de laser, ceea ce provoacă trecerea substanțelor solide și lichide într-o stare gazoasă.

Spre deosebire de arsurile obișnuite, efectul radiației laser asupra țesutului viu are un caracter bine delimitat: granița dintre porțiunea afectată și cea neafectată este destul de netă întrucât excesul de căldură nu are timp să se transmită și porțiunilor învecinate.

Iradieră cu lumină laser de mai lungă durată provoacă stări de oboseală crescândă, modificări funcționale ale sistemului cardio-vascular și scăderea tensiunii arteriale.

Cel mai mare pericol îl reprezintă radiația laser pentru organele vizuale, deoarece sensibilitatea ochiului la excitații luminoase este destul de ridicată. Radiația laser focalizată de cristalin pe retină este absorbită de pigmentul acesteia, temperatura în locul de pătrundere al fasciculului crește brusc, producându-se arsuri sau pierderea temporală a vederii, precum și distrugeră explozive ale țesutului.

Asupra pielii efectul radiației laser are efect termic, care depinde și de pigmentația acesteia. La iradierea pielii se produc fenomene de coajă, desfoliere în straturi, carbonizare și chiar formarea de răni.

Capitolul 7. Impactul centralei nucleare-electrice asupra mediului

7.1. Radioactivitatea

7.1.1 Radioactivitatea naturală

Reprezintă proprietatea anumitor elemente de a se dezintegra spontan, adică de a se transforma în alte elemente prin emisia de radiații α , β și γ sau captarea de electroni de pe straturile inferioare. Observată pentru prima dată de Becquerel (1852-1908) în anul 1896, ea a fost studiată amănunțit de soții Curie care au descoperit principalele elemente radioactive naturale: U, Th, Po, Ra.

În anul 1903, pentru descoperirea radioactivității naturale, Becquerel și soții Curie primesc premiul Nobel pentru fizică. Experiențele lui Rutherford și Soddy au stabilit că elementele radioactive sunt instabile, se dezintegrează continuu și că radioactivitatea este o proprietate a nucleelor elementelor respective.

Urmărind traiectoria celor trei tipuri de radiații în câmp electric sau magnetic s-a constatat că radiațiile α sunt particule încărcate pozitiv, fiind de fapt nuclee de heliu, radiațiile β sunt de fapt fascicule de electroni sau pozitroni, iar radiațiile γ , nedeviate de câmp, sunt de natură electromagnetică.

Particulele α se deplasează cu viteze ce variază în limite foarte largi, putând traversa foițe subțiri de aluminiu (0,05 mm), iar parcursul în aer este de câțiva centimetri. Puterea de ionizare, însă, este foarte mare.

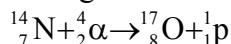
Particulele β sunt de aproximativ 200 de ori mai penetrabile decât particulele α , fiind absorbite de o foiță de aluminiu cu grosimea de 2 ÷ 3 mm, dar au puterea de ionizare mai mică, masa lor fiind aproximativ de 8 000 ori mai mică decât a particulelor α . Masa de repaus fiind mică și viteza foarte mare, variația masei cu viteza este considerabilă.

Radiația γ este cea mai penetrantă, străbătând metale cu grosimi destul de mari, deoarece frecvența acesteia este foarte mare.

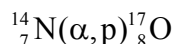
7.1.2 Radioactivitatea artificială

Dacă în condiții de laborator un nucleu este bombardat cu o particulă neutră sau încărcată electric cu energie suficient de mare pentru a pătrunde în câmpul coulombian al nucleului, se produce transformarea nucleului dat într-unul nou, cu eliberarea unei alte particule, fenomen numit **radioactivitate artificială**. Această tip reacție nucleară este exo- sau endo- energetică, după cum reacția are loc cu degajare sau absorbție de energie.

Prima reacție nucleară a fost produsă în laborator de Rutherford prin bombardarea nucleelor de azot cu particule α rezultate dintr-o dezintegrare radioactivă naturală:



care se mai poate scrie sub forma:



În anul 1932, prin reacția: ${}^9_4\text{Be}(\alpha, \text{n}){}^{12}_6\text{C}$, fizicianul englez James Chadwick a descoperit neutronul, primind pentru aceasta, în anul 1935, premiul Nobel.

Mai târziu soții Joliot-Curie (premiul Nobel în anul 1935 pentru descoperirea radioactivității artificiale), bombardând elemente chimice cunoscute cu diferite particule (α , protoni, deuteroni, neutroni), au constatat că aproape toate prezintă fenomenul de radioactivitate artificială. Izotopii radioactivi rezultați, spre deosebire de cei naturali, pot da naștere la mai multe tipuri de dezintegrări (α , β^- , β^+ , neutroni, însoțite de emisie γ) după cum nuclidul respectiv are un exces de neutroni sau protoni.

Izotopii radioactivi artificiali, mult mai numeroși ca cei naturali, se obțin în reactoare nucleare și în acceleratoare de particule. Au multe aplicații practice, mai ales ca trăsori în chimie și biologie.

În proba ale cărei proprietăți se urmăresc, se încorporează o cantitate mică dintr-un radioizotop a unuia din elementele constitutive ale probei, urmărind comportarea lui cu ajutorul detectorilor de radiații. Însă, trebuie ca traserul să nu modifice proprietățile fizico-chimice ale substanței analizate și să aibă un timp de înjumătățire mic, de același ordin de mărime cu timpul de observație.

7.2 Fisiunea nucleară. Reactorul nuclear

Fisiunea nucleară este reacția nucleară prin care nucleul elementelor grele se divide, spontan sau prin bombardare cu particule accelerate, în două sau mai multe fragmente de mase comparabile.

Fisiunea spontană se produce rar (20 fisiuni/oră) și cu probabilitate cu atât mai mare cu cât nucleele sunt mai grele. În **fisiunea provocată** se folosesc protoni, neutroni, deuteroni, particule α , radiații γ , însă singurul tip de fisiune care a căpătat o largă întrebuințare industrială este cel produs prin bombardare cu neutroni. Ca elemente fisionabile se folosesc izotopii $^{235}_{92}\text{U}$, $^{233}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$.

Prin absorbția unui neutron, nucleul trece într-o stare excitată ca apoi să se scindeze în două nuclee de la mijlocul sistemului periodic, cu emisie simultană de electroni, fotoni sau radiații γ și doi sau trei neutroni rapizi.

Prođușii de fisiune nu sunt aceeași întotdeauna, nucleul putând fisiona în multe feluri, Fig. 7.1.

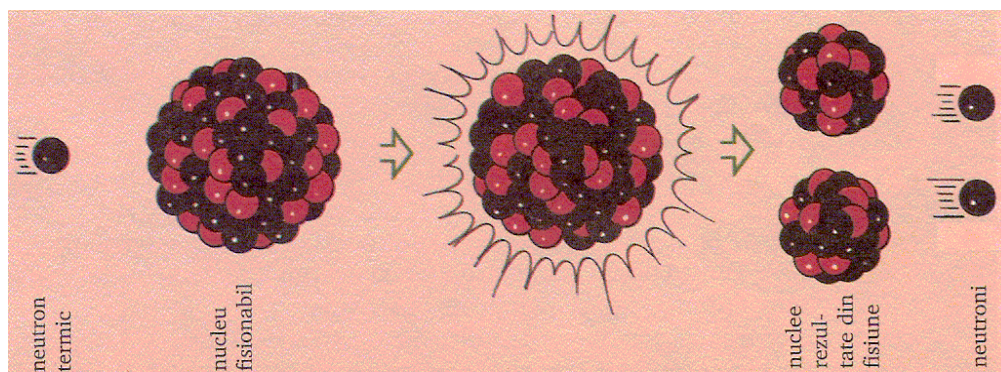


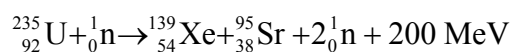
Fig. 7.1 Fisiunea provocată a unui nucleu cu un neutron termic

Cei mai probabili produși de fisiune au numerele de masă în jurul valorilor 95 sau 140, ca de exemplu ^{90}Sr , ^{91}Kr , ^{91}Y , ^{95}Zr și ^{126}I , ^{137}Cs , ^{142}Ba , ^{144}Ce . Cantitatea maximă din oricare din aceste elemente nu depășește însă 5-6% din cantitatea totală a fragmentelor.

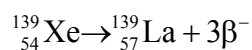
Fragmentele de fisiune sunt radioactive, suferind câteva dezintegrări β^- , înainte de a se transforma în nuclee stabile.

Fisiunea este însoțită de degajarea unei cantități mari de energie, care se poate evalua fie prin defectul de masă Δm , fie prin diferența dintre energia de legătură pe nucleon a nucleului fisibil greu și a fragmentelor mai ușoare rezultate prin fisiune. De exemplu, pentru $^{235}_{92}\text{U}$, $E/A = 7,6 \text{ MeV/nucleon}$, adică 1786 MeV energie globală a nucleului, iar pentru fragmentele de fisiune rezultate are valoarea 8,6 MeV/nucleon, respectiv 2012 MeV energie totală.

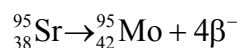
Ținând cont și de neutronii expulzați, rezultă o energie eliberată în jur de 200 MeV dintr-un singur act de fisiune. De exemplu în cazul $^{235}_{92}\text{U}$, o fisiune de probabilitate apropiată de cea maximă este următoarea:



apoi:



respectiv:



Neutronii eliberați prin fisiune pot întâlni la rândul lor alte nuclee pe care să le fisioneze, procesul de fisiune crescând în progresie geometrică prin dublarea numărului de neutroni cu fiecare generație nouă. Se declanșează astfel o **reacție nucleară în lanț** a cărei desfășurare în timp se caracterizează prin **coeficientul de multiplicare** K egal cu raportul dintre numărul de neutroni dintr-o generație și cel al neutronilor din generația precedentă.

Dacă $K < 1$ reacția în lanț se va stinge; este o reacție convergentă.

Dacă $K > 1$ reacția este divergentă, putând atinge un caracter exploziv, situație specifică **bombei atomice**.

Pentru a putea controla reacția, pentru ca energia eliberată să crească încet, adică să poată fi controlată, respectiv să poată fi stabilizată când reacția a atins un nivel optim de putere, trebuie ca la un moment dat $K = 1$. Aceasta este o reacție în lanț controlată, produsă în **reactoarele nucleare**.

Întreținerea reacției în lanț necesită o cantitate minimă de substanță radioactivă (combustibil nuclear), numită **masă critică** (10 kg pentru ${}_{92}^{235}\text{U}$). Pentru o cantitate mai mică s-ar putea întâmpla ca majoritatea neutronilor de fisiune să părăsească combustibilul nuclear înainte de a întâlni și deci a fisiona un alt nucleu.

Micșorarea pierderilor de neutroni se face înconjurând reactorul cu un strat de substanță (grafit, betonul greu, borosilicați), care prin reflexii repetate trimite neutronii înapoi în interiorul combustibilului.

Combustibilul nuclear trebuie să fie suficient de pur pentru ca neutronii să nu fie capturați de nuclee nefisionabile ale impurităților.

Cantitatea de combustibil variază între 100 tone și câteva sute de tone.

Substanțe puternic absorbante de neutroni se folosesc pentru a controla funcționarea reactorului prin reglarea fluxului de neutroni. În acest sens, **bare de control** de cadmiu, bor, iridiu etc., se introduc în reactor pe o lungime mai mare sau mai mică, Fig. 7.2.

Dacă neutronii de fisiune rapizi ($E > 1,1 \text{ MeV}$) sunt transformați în neutroni termici lenți ($E = 0,03 \text{ MeV}$) secțiunea lor eficace de fisiune, adică probabilitatea ciocnirii cu alte nuclee, crește, deci randamentul reacției este îmbunătățit. Pentru încetinirea neutronilor se folosesc moderatori (apa grea – D_2O , grafitul, beriliu, apa – H_2O), substanțe care au proprietatea de a micșora viteza neutronilor fără să-i absoarbă.

Căldura degajată într-un reactor este evacuată cu ajutorul agenților de răcire, adică substanțe fluide cu capacitate calorică mare (H_2 , He , H_2O , vapori de apă, amestec de K și Na topite). Aceasta, la rândul ei, este folosită pentru obținerea de energie electrică în centrale nucleare-electrice, nave cosmice, submarine nucleare.

În Fig. 7.3 este prezentată schema de principiu a unei centrale nucleare-electrice cu apă sub presiune.

Miezul reactorului se află într-o incintă blindată – **mantaua reactorului** – înconjurată de ziduri groase de beton pentru a obține o protecție față de radiațiile intense ce sunt emise în urma reacției de fisiune.

Reactoarele sunt astfel proiectate



Fig. 7.2 Bare de control

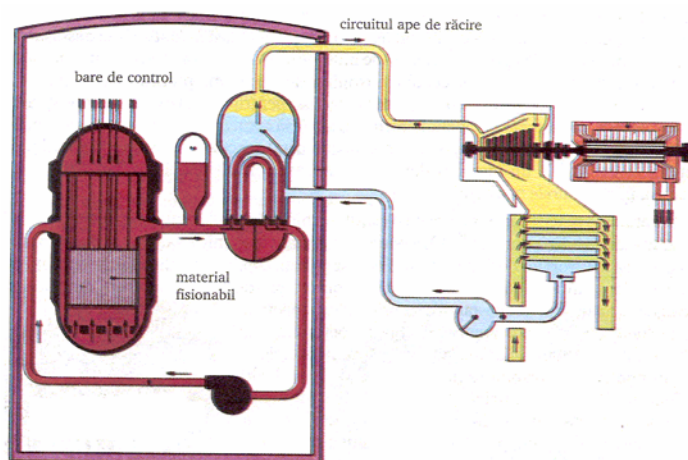


Fig. 7.3 schema de principiu a unei centrale nucleare-electrice cu apă sub presiune

și construite încât să se evite situațiile în care radioactivitatea să se răspândească în mediul înconjurător, dar cu toate aceste măsuri au existat și incidente foarte grave, cum a fost cel de la Cernobîl din fosta Uniune Sovietică, care au arătat cât de periculoasă poate fi energia nucleară. Deși a pătat imaginea energiei atomice, accidentul de la Cernobîl a dus la adoptarea unor sisteme de siguranță mai performante, în toate centralele nucleare.

Centrala nuclearo-electrică de la Cernavodă este construită pe tehnologia „apă grea”, de fabricație canadiană tip CANDU. România a decis să fie nu numai utilizator al energiei nucleare ci și să asimileze în țară tehnologiile asociate: producerea apei grele, a elementelor de combustibil nuclear și a echipamentelor energetice specifice. Alegerea unui reactor nuclear canadian s-a dovedit de bun augur din punct de vedere al siguranței în funcționare și al minimizării impactului asupra mediului.

Centrala nuclearo-electrică de la Cernavodă, care asigură circa 20% din necesarul de electricitate al României, prin cele două grupuri de reactoare, cu o putere totală instalată de 1400 MW, realizând costuri de producție mai mici decât numeroase capacitățile echivalente ale Termoelectrica, are indicatori buni de fiabilitate și disponibilitate și un impact ecologic redus.

Prima centrală nuclearo-electrică din lume a intrat în funcțiune în anul 1950. Astăzi există peste 440 centrale nucleare distribuite în 31 țări, cu o putere totală de peste 364.000 MW. Ele produc aproximativ 16% din necesarul de energie electrică al planetei, iar ponderea lor continuă să crească. Există 56 state în care funcționează reactoare nucleare; aproximativ 284 reactoare pentru cercetare, dar și peste 220 reactoare nucleare montate pe nave și submarine.

Belgia, Bulgaria, Finlanda, Germania, Ungaria, Japonia, Korea de Sud, Lituania, Taiwan, Slovacia, Slovenia, Suedia, Elveția și Ucraina produc peste 30% din necesarul de energie electrică pe cale nucleară.

Franța, cu o populație de 60 de milioane, obține 75% din electricitatea pe care o produce din centrale nucleare și este cel mai mare exportator mondial de electricitate. În SUA sunt peste 100 reactoare nucleare, iar Marea Britanie produce peste 25% din energia electrică prin fisiune nucleară.

Asia constituie continentul fruntaș în ceea ce privește adoptarea tehnologiilor nucleare. Din cele 31 de reactoare intrate în funcțiune în ultima perioadă, 22 se află în Asia. De asemenea, din cele 27 de reactoare în curs de actualmente construcție în întreaga lume, 27 sunt pe continentul asiatic. În schimb, în America de Nord și în Europa Occidentală, construcția de noi reactoare practic s-a oprit, datorită preocupărilor de ordin ecologic, accidentelor de tipul celui de la Cernobîl.

7.3 Impactul centralei nuclearo-electrice asupra mediului

Printre efectele unei centrale nuclearo-electrice asupra mediului se pot menționa:

- influența asupra nivelului sonor datorită zgomotului provenit de la sala mașinilor;
- influența asupra climatului datorită emanării de vapori de apă și căldură în atmosferă și în râul ce alimentează centrala, cu repercusiuni asupra vieții acvatice, dar și a economiei regionale;
- influența asupra compoziției chimice a apelor râurilor prin deversarea de săruri minerale, cu repercusiuni asupra vieții acvatice;
- influența radio-ecologice prin scăpări de substanțe radioactive lichide în apă sau gazoase în atmosferă.

Pentru diminuarea acestor influențe negative se impun măsuri indispensabile de asigurare a securității mediului:

- controlul riguros al reacției în lanț;
- folosirea de instalații de protecție, atent supravegheate, pentru evitarea dispersării produselor de fisiune gazoși sau în soluție la transferarea acestora din incinta reactorului;
- evitarea diseminării deșeurilor radioactive; cele cu perioadă radioactivă sub 30 ani sunt stocate în tuburi metalice și apoi în containere din beton acoperite cu argilă, deșeurile cu perioadă radioactivă lungă (mii de ani) sunt vitrificate și stocate sub pământ la sute de metri adâncime în zone fără circulație de apă. O parte din deșeuri se retratează pentru a servi din nou drept combustibil nuclear;
- evacuarea energiei eliberate sub formă de căldură din reactor.

Centralele nucleare sunt proiectate să fie extrem de robuste. Le putem include printre cele mai rezistente structuri construite vreodată. Protecția lor exterioară este întărită de sisteme de securitate și forțe de pază. Chiar dacă nu sunt invulnerabile la orice fel de atac imaginabil, majoritatea reactoarelor sunt făcute să nu scape radiații nici în cel mai improbabil scenariu

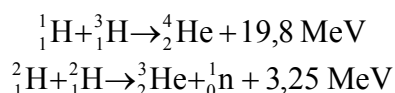
O centrală nucleare-electrică trebuie să reziste unui seism puternic și impactului unui avion de mare tonaj. În caz de accident nuclear care pot implica consecințe potențiale asupra populației trebuie pus în practică un plan de intervenție urgentă pentru adăpostirea și evacuarea populației, distribuirea de iod, confinarea (învelirea) reactorului etc.

După catastrofele de la Cernobîl (1986) și Fukushima (2011), costurile uriașe ale industriei nucleare, respectiv problemele nerezolvate determinate de transportul și depozitarea deșeurilor nucleare, majoritatea statelor membre UE au hotărât fie să nu mai construiască centrale nucleare, fie să oprească activitatea celor existente deja.

7.4 Fuziunea nucleară

Un alt tip de reacție nucleară prin care se eliberează energie este **fuziunea nucleară** când două nuclee ușoare se unesc pentru a forma un nucleu mai greu.

Energia eliberată prin fuziune se poate calcula din diferența de masă înainte și după reacție. Exemple de astfel de reacții sunt:

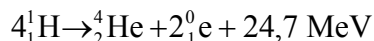


Pentru producerea fuziunii, nucleele trebuie apropiate până la distanța la care se manifestă forțe nucleare de atracție, dar mai întâi trebuie învinse forțele de respingere electrostatică, care apar la distanțe mici, de ordinul 0,1 Fermi, pentru a căror învingere nucleele trebuie să aibă energii cinetice suficient de mari, obținute prin creșterea temperaturii până la milioane de grade ($T \cong 10^8 \text{ K}$).

La temperaturi atât de ridicate substanța se află în stare de plasmă, particulele sale preluând energia degajată prin fuziune, plasma se încălzește și mai mult, astfel reacția nucleară, denumită **reacție termonucleară**, se autoîntreține.

În natură se produc reacții termonucleare în Soare și stele, ele constituind sursa lor energetică. Conform unor analize spectrale, Soarele este format mai ales din elemente ușoare (70% hidrogen, 29% heliu, 1% alte elemente), în centrul său temperatura atinge 20 milioane de grade și presiunea este enormă. Încălzirea inițială a astrilor se presupune că s-ar fi produs prin comprimarea acestora sub acțiunea forței de atracție gravitațională.

Se presupune că reacțiile chimice care au loc în Soare duc la formarea de heliu prin fuziunea a 4 protoni (**ciclu Bethe**):



S-a constatat că Soarele pierde în jur de 4 milioane tone de materie pe secundă care se transformă în energie. Cu toate acestea, prin reacțiile termonucleare care se produc de cel puțin 2 miliarde de ani, s-a transformat în heliu numai 2% din masa Soarelui, ceea ce înseamnă că el va mai putea emite 10^{11} ani cu aceeași intensitate.

Reacțiile de fuziune necontrolată au stat la baza fabricării **bombei cu hidrogen**.

Unul dintre domeniile actuale cel mai interesant este posibilitatea de a folosi reacțiile termonucleare pentru obținerea unor surse practic inepuizabile de energie. Într-adevăr, combustibilul nuclear care s-ar folosi (amestec de deuteriu și tritium) s-ar obține ușor și ieftin, deoarece materia primă este apa, singura problemă fiind producerea și menținerea temperaturilor foarte înalte. Pentru aceasta se utilizează proprietățile plasmei, existând diferite metode de producere a plasmei încălzite.

Pentru obținerea temperaturilor de ordinul 10^8 K și a presiunilor uriașe plasme trebuie „confinată” în spațiul prevăzut pentru reacție, astfel încât densitatea ei să atingă o anumită valoare,

într-un anumit interval de timp. Confinarea se poate realiza experimental cu două tipuri de dispozitive:

a) confinarea magnetică.

Se realizează în tokamak-uri, instalații inventate de savanții ruși. Plasma este confinată de un câmp magnetic ale cărui linii de câmp constituie un tub în formă de tor. Particulele încărcate se rotesc în jurul liniilor de câmp și rămân localizate într-un volum redus, atingând astfel densități mari. Plasma este încălzită prin inducție electromagnetică. Instalații de tip tokamak au fost construite în Japonia, Statele Unite și Europa. S-au obținut temperaturi de ordinul 100 milioane grade timp de câteva secunde. Pentru electromagneții utilizați s-au utilizat curenți electrici care au atins 7 milioane de amperi.

b) confinarea inerțială.

Un amestec de deuteriu și tritium este încălzit și confinat cu ajutorul unor fascicule de electroni sau ioni. Densitatea plasmelor este foarte ridicată, dar timpul este foarte scurt.

În ambele cazuri mare parte din energia produsă este transportată de neutroni. Aceștia cedează energia cinetică unei incinte exterioare care devine sursă de căldură.

Cele mai mari puteri economice ale lumii; SUA, China, Japonia, Coreea de Sud, Rusia, India și UE au semnat recent acordul pentru construcția ITER - Internațional Termonuclear Experimental Reactor - cel mai mare reactor pe baza de fuziune nucleară.

Peste zece miliarde de euro vor fi alocate pentru reactorul de la Cadarache, din Franța, ce va fi o sursă inepuizabilă de energie "curată". Congresul Statelor Unite a alocat deja 25 de milioane de dolari pentru prima etapă a proiectului (2006) și 60 de milioane de dolari pentru 2007, în timp ce UE va aloca aproape jumătate din fondurile necesare construirii reactorului.

Fondurile ce vor fi cheltuite îl vor transforma în cel de-al doilea cel mai scump proiect științific din lume, după **Stația Spațială Internațională**. Reactorul va fi construit în aproximativ opt ani și se speră ca va fi primul experiment de fuziune nucleară care să producă mai multă energie decât consumă. Nucleul reactorului ar trebui să aibă 100 milioane de grade - de zece ori temperatura Soarelui.

Procesul este greu de controlat și nici cei mai optimiști dintre cercetători nu speră ca energia provenită de la asemenea reactoare va fi folosită la scară largă în următorii 50 de ani. Însă beneficiile vor fi imense, pentru că nu vor fi lăsate în urmă deșeuri radioactive atât de periculoase ca cele pe care le produc centralele nucleare clasice. Din fuziunea nucleară rezultă doar o cantitate infimă de material radioactiv, care se "decontaminează" în circa 100 de ani.