

UNELE ASPECTE ALE INTERACȚIUNII RADIAȚIEI ELECTROMAGNETICE NEIONIZANTE CU MEDIUL BIOLOGIC

MONICA-ANCA CHITA

Cuvinte cheie: Câmp electromagnetic, Radiație electromagnetică neionizantă, Mediu biologic

În această lucrare sunt prezentate aspecte esențiale privind interacțiunea radiației electromagnetice neionizante cu mediul biologic. Numeroase studii efectuate în special în ultimii ani au dus la concluzia că ideea conform căreia radiațiile electromagnetice neionizante nu au nici un efect asupra sistemelor vii este complet falsă. Au fost puse în evidență numeroase efecte ale diferitelor tipuri de unde electromagnetice asupra diferitelor sisteme vii sau asupra unor organe și țesuturi ale acestora, inclusiv asupra omului. Lucrarea prezintă mecanismele de interacțiune a câmpului electromagnetic cu mediul biologic prin prisma a două modalități de abordare: cibernetică și analitică.

1. INTRODUCERE

Radiația electromagnetică se poate clasifica după mai multe criterii. Astfel după efectele primare pe care le poate produce la trecerea prin substanță se pot deosebi două categorii și anume: radiația electromagnetică ionizantă și radiația electromagnetică neionizantă.

Radiația electromagnetică ionizantă este acea parte a spectrului electromagnetic pentru care energia cuantei de câmp este suficientă pentru a rupe legăturile dintre electroni și atomi sau dintre componentele unei molecule pentru a produce ionizarea acestora. Din această categorie fac parte radiațiile γ și X, acestea fiind caracterizate de frecvențe mari (superioare valorii de 10^{15} Hz) și lungimi de undă foarte mici.

Radiația electromagnetică neionizantă este caracterizată de frecvențe mai mici, ceea ce înseamnă și energii ale cuantei de câmp mai mici, insuficiente pentru producerea fenomenelor de ionizare. Din această categorie fac parte radiațiile ultraviolete, lumina vizibilă, radiația infraroșie, microundele, undele radio și radiația electromagnetică de frecvență foarte joasă.

Numeroase studii efectuate în special în ultimii ani au dus la concluzia că ideea conform căreia radiațiile electromagnetice neionizante nu au nici un efect asupra sistemelor vii este complet falsă. Au fost puse în evidență numeroase efecte ale diferitelor tipuri de unde electromagnetice (radio, microunde, radiații infraroșii,

vizibile, ultraviolete) asupra diferitelor sisteme vii sau asupra unor organe și țesuturi ale acestora, inclusiv asupra omului.

2. MECANISME DE INTERACȚIUNE A CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC CU MEDIUL BIOLOGIC

Bioelectromagnetismul studiază diferite procese electromagnetosensibile la nivelul fundamental de interacțiune a câmpurilor cu substanța. La efectul bioelectromagnetic contribuie în mod esențial procese de niveluri ierarhice diferite dintr-un organism viu, de la cel molecular (bio)fizic, la procese biologice adaptive complexe [1]. Astfel se pot evidenția următoarele efecte fizice pe care se bazează mecanismele primare ale bioelectromagnetismului:

– Bioelectromagnetismul și contaminarea feromagnetică

Una din primele idei în domeniul bioelectromagnetismului a fost cea a așa-numitului magnetit biogenic. Există cristale naturale microscopice, de obicei de magnetit, în interiorul țesutului biologic al unor animale și în interiorul unor organisme unicelulare (bacterii). Acestea sunt capabile să sufere magnetizări, câmpurile electromagnetice exterioare influențând astfel de cristale, care tind să se reorienteze în spațiu. În consecință, cristalele exercită presiuni asupra țesuturilor înconjurătoare și determină un răspuns biologic, în anumite cazuri, fiind posibilă explicarea în acest mod a recepției biologice a câmpurilor magnetice statice slabe sau a celor electromagnetice de foarte joasă frecvență. Cristale microscopice de magnetit au fost detectate în creierul unor păsări, cunoscute ca bune navigatoare în câmpul geomagnetic, iar urme de magnetit au fost detectate, de asemenea, în unele insecte. Totuși, multe organisme unicelulare, în interiorul cărora nu se găsesc cristale de magnetit, sunt capabile să reacționeze la acțiunea câmpurilor electromagnetice exterioare. Reacția, în multe cazuri, are un caracter complex neliniar, depinzând de parametrii câmpului.

– Curenți turbionari induși de câmpurile electromagnetice exterioare

Câmpurile electromagnetice exterioare (în special cele de joasă frecvență) induc curenți turbionari în țesuturile biologice, aceștia putând, de asemenea, să determine efecte biologice. Totuși, experimental nu a fost observată o corelație între intensitatea câmpului și mărimea efectului, pentru câmpuri slabe.

– Modele clasice și cuantice de oscilatori

O primă teorie apornit de la aplicarea teoremei Larmor unei legături ionice într-o cavitate proteinică (calmodulin). Ideea centrală era aceea că direcția vibrațiilor ionice joacă un rol crucial în forma proteinei, ceea ce provoacă acesteia schimbarea activității enzimatică. Mai recent, s-a propus o altă explicație a efectelor bioelectromagnetice, care ia în considerare polarizarea oscilațiilor ionice în proteină. Conform acestei idei, o schimbare în polarizarea acestor oscilații influențează activitatea biologică a legăturii ion-proteină.

– Rezonanța ciclotronică

Într-un număr de cazuri, efectele câmpurilor electromagnetice slabe au un caracter rezonant și frecvențele eficace sunt apropiate de frecvența ciclotronică a ionilor de Ca^{++} , Na^+ . Există astfel o bază pentru presupunerea că fenomenele observabile au la bază rezonanța ciclotronică.

– Interferența cuantică a stărilor legăturilor ionice și electronice

S-a stabilit că un factor esențial de producere a efectului biologic de către un câmp electromagnetic este coerența temporală a acestuia. Zgomotul electromagnetic, ca proces aleator, distruge coerența temporală și poate reduce astfel consecințele biologice. Se consideră că efectele nocive ale unor câmpuri electromagnetice pot fi compensate prin aplicarea protecției a unui câmp similar dar aleator. Se pot bloca astfel efectele negative ale variațiilor expunerii electromagnetice (câmpuri electromagnetice de foarte joasă frecvență, provenite de la liniile de tensiune, microunde provenite de la telefoanele celulare, etc.). S-a constatat că efectul de suprimare este relativ independent de tipul efectului bioelectromagnetic sau de condițiile inducerii acestuia, ceea ce indică un mecanism fizic comun pe care se bazează efectele bioelectromagnetice. O altă concluzie evidentă este aceea că acest mecanism este unul neliniar, întrucât răspunsul biologic observat la aplicarea suprapusă a semnalului și zgomotului nu este egal cu suma răspunsurilor biologice la aplicarea separată a fiecăruia dintre acestea.

– Excitări cuantice coerente

Fluctuațiile termice pe scara kT sunt de 10 ordine de mărime mai mari decât cuanta de energie a câmpului electromagnetic de frecvență joasă. În aceste condiții, este important de aflat de ce aceste fluctuații aleatoare nu distrug efectul bioelectromagnetic. O soluție este sugerată de ideea coerenței stimulului exterior, în opoziție cu fondul incoerent al zgomotului termic. Dacă un oscilator molecular poate fi basculat (coerență temporală) într-o condiție în care energia sa este suficientă pentru un impuls inițiator, în același mod, un sistem de oscilatori poate fi basculat, într-o manieră de coerență spațio-temporală, pentru realizarea unei cuantificări a excitației colective. Sunt sugerate drept oscilatori interacționând cu câmpul electromagnetic diferite obiecte microscopice și anume: grupări moleculare încărcate electric, membrane plasmatică, și chiar organele complete. Este semnificativ că nici ideea oscilatorilor biologici, nici cea a excitațiilor colective nu au încă până în prezent un mecanism teoretic verificabil, în cel mai bun caz, putându-se prevedea pragul temporal și de amplitudine pentru expunerea la microunde, la care apare răspunsul biologic.

– Reacții ale radicalilor liberi electromagnetosensibili și alte mecanisme “de spin”

Viteza de reacție a reacțiilor unor anumiți radicali liberi depinde de valoarea câmpului electromagnetic exterior. Probabilitatea obținerii unui produs dintr-o pereche de radicali, care poartă un moment cinetic de spin, depinde de mărimea acestui moment, adică de orientarea reciprocă a spinilor acestora. Un

câmp electromagnetic influențează probabilitatea unei orientări convenabile, ceea ce modifică echilibrul biochimic; în același timp, mecanismul nu posedă selectivitate în frecvență. Timpul de viață al unei perechi de radicali liberi până la reacție sau, dimpotrivă, până la disociere (când cuplul radicalilor legați este sensibil la câmpuri electromagnetice) este de ordinul a 10^{-7} s. Perechea percepe câmpurile electromagnetice de joasă frecvență drept câmpuri statice, ceea ce face ca să nu se producă rezonanțe. De aceea, pentru a explica ferestrele de frecvență și amplitudine în efectele bioelectromagnetice, reacția radicalilor liberi sensibilă la câmpuri electromagnetice este considerată a fi o legătură a unui sistem neliniar complex, descrisă de ecuații cinetice chimice cu bifurcații. Astfel problemele care apar la acest model sunt legate de influența limitată a câmpului electromagnetic asupra vitezei de reacție a radicalilor, influență insuficientă uneori pentru explicarea efectelor bioelectromagnetice.

– Rezonanța parametrică

O explicație a efectelor bioelectromagnetice a fost propusă pe seama rezonanței parametrică a legăturii ionului de Ca^{++} în proteine, cum este calmodulinul și altele, care modifică echilibrul reacției dintre ionul de Ca^{++} și proteină, ducând la un răspuns biologic. Acțiunea proteinei depinde însă de cât de puternică este legătura ionului. Considerând influența câmpului electromagnetic asupra acestei legături, s-a făcut o analogie cu efectul de rezonanță parametrică. Ideea este totuși îndoielnică, atât timp cât rezonanța parametrică în fizica atomică implică reemisia luminii incidente de către ansamblul atomic, ca rezultat al tranzițiilor radiative spontane. În același timp, probabilitatea este neglijabilă pentru astfel de tranziții ale ionilor relativ grei. Mai mult decât atât, cazul particular al câmpului magnetic uniaxial nu este un factor generator al rezonanței parametrică dar s-a dovedit că și acesta poate produce efecte biologice.

– Rezonanța stohastică: mecanism de amplificare în bioelectromagnetism și alte procese aleatoare

O altă idee care implică factorul termic apelează la ceea ce se numește rezonanță stohastică. Fenomenul constă în întărirea unui semnal slab față de fondul de zgomot, pe seama redistribuirii energiei în spectrul de frecvență al amestecului semnal-zgomot. Aici este crucial faptul că zgomotul este un element util al sistemului și nu unul perturbator, în cazul rezonanței stohastice, semnale fizice sau biologice relativ slabe putând produce schimbări dinamice esențiale, împotriva fondului mai multor factori perturbatori. Astfel de procese pot avea loc, de exemplu, în celulele mecanoreceptoare ale unor organisme sub acțiunea unui stimul acustic de forma unui amestec dintr-un semnal treaptă și un zgomot gaussian. Fenomenul a fost folosit pentru rezolvarea problemei zgomotului termic în bioelectromagnetism. Totuși, s-au obținut numai amplificări de aproximativ 100 de ori, cu o anumită pierdere a calității semnalului, ceea ce este insuficient pentru explicarea eficienței biologice a câmpurilor electromagnetice slabe.

– Bifurcații ale soluțiilor neliniare ale ecuațiilor cineticii chimice

Caracterul informațional al acțiunii factorilor fizici și chimici slabi ai sistemelor biologice este discutat frecvent. Din acest punct de vedere, un biosistem este considerat a fi într-o stare de echilibru instabil. De aceea, chiar și un stimul slab este suficient pentru a trece sistemul într-o nouă stare, pe seama propriilor resurse energetice. Cu alte cuvinte, are loc așa-numita amplificare biologică a semnalelor electromagnetice slabe. Pentru descrierea fenomenologică a acestui proces se folosesc ecuațiile de cinetică chimică, în anumite condiții, soluțiile lor prezintă o comportare de bifurcație, sub acțiunea factorului perturbator slab având loc tranziția într-o stare dinamică calitativ diferită.

– Vârtejuri (vortex) macroscopice de sarcină electrică în citoplasmă

Pentru a depăși slăbiciunile modelului rezonanței ciclotronice, s-a presupus existența unor clusteri (ciorchini) macroscopici de particule electrizate sau vârtejuri formate din grupuri de ioni în plasma biologică. Acest lucru este de presupus datorită energiilor proprii relativ mari ale acestor structuri, comparabile cu kT . Astfel, chiar un câmp slab poate modifica semnificativ energia legăturii vortex, dar sunt necesare condiții strict determinate ale mișcării vortex. În particular, mișcarea centrului de masă trebuie să fie caracterizată de un moment cinetic, altfel câmpul electromagnetic nu poate elibera energie sistemului în mișcare. Este îndoielnic dacă o astfel de mișcare este reală pentru obiecte macroscopice cum ar fi vortexurile în citoplasmă. Mai mult, comparația energiei vortexului și kT are sens numai dacă există un mecanism de conversie pentru ca energia acestui vortex să poată fi transformată în energia unui grad de libertate distinct, la un nivel microscopic. Este dificil de decelat un astfel de mecanism, în plus, natura fizică a forțelor moleculare, care ar putea proba existența și stabilitatea clusterilor și vortexurilor antemenționați este neclară.

– Efecte biologice ale câmpurilor de torsiune care însoțesc câmpul electromagnetic

Interacțiunea câmpurilor electromagnetice cu sistemele biologice este o problemă acută, care în ultimul timp a primit numeroase impulsuri experimentale și teoretice de dezvoltare. Pe de o parte, numeroase experimente au arătat influența câmpurilor electromagnetice asupra sistemelor biologice într-o largă gamă de frecvențe și intensități; pe de alta, nu există încă o idee clară asupra naturii fizice a recepției biologice a acestor câmpuri de intensități mici, de ordinul fluctuațiilor geomagnetice. Cuanta de energie a acestor câmpuri care determină bioefecte, este de 3–5 ordine de mărime mai mică decât cea a câmpurilor de foarte joasă frecvență de 1 G.

Bine-cunoscutele ecuații ale particulei în câmpuri electromagnetice sunt ecuația forței Lorentz în abordarea clasică și ecuația Dirac sau Schrodinger în cazul cuantic. Este însă greu, mai degrabă imposibil însă ca acestea să fie utilizate pentru explicarea bioefectelor câmpurilor electromagnetice infinitezimale. O idee care ar putea explica aceste fapte este cea a interacțiilor spin-torsiune. Câmpurile de torsiune sunt în legătură cu proprietatea geometrică a spațiu-timpului, proprietatea

de torsiune. Matematic, acestea sunt câmpuri tensoriale care descriu torsiunea și curbura spațiului, fiind produse în particular de spinii microparticulelor. Ele însoțesc de asemenea câmpurile electromagnetice.

Extensii neliniare ale ecuațiilor cunoscute pot fi obținute din ecuațiile generale ale câmpului de torsiune. Astfel de extensii includ un termen adițional de corecție, care descrie contribuția “torsiunii”. Este atunci clar că acesta poate fi utilizat pentru explicarea efectelor biologice ale câmpurilor electromagnetice ultraslabă. Trebuie subliniat că aceste câmpuri de torsiune nu pot schimba energia unui sistem, în particular energia unei particule cuantice, care se conduce conform ecuației Schrodinger. De aceea, se introduce în ecuație un termen de torsiune, care acționează asupra fazei funcțiilor de undă. Se arată că particulele încărcate, cum ar fi ionii dintr-o cavitate proteinică, ce suferă o interferență semnificativă a stărilor lor cuantice, pot fi afectate de câmpurile de torsiune într-o manieră rezonantă.

Există suficiente date, atât teoretice, cât și experimentale, pentru a presupune existența câmpurilor de torsiune. Aceste câmpuri geometrice cu rază mare de acțiune se pot propaga independent sau pot însoți câmpurile electromagnetice. Este de notat că ele nu alterează energia unui sistem cuantic implicat în interacțiune. Acestea influențează numai fazele funcțiilor de undă ale sistemului, în acest caz, o particulă încărcată (un ion într-o legătură cu o proteină, de exemplu) interacționează cu câmpul de torsiune într-o manieră rezonantă. Energia nu este un atribut adecvat al câmpurilor de torsiune. De aceea, noțiunea de magnitudine (intensitate) nu este specifică privitor la câmpurile electromagnetice care afectează sistemele biologice prin intermediul câmpurilor de torsiune generate de aceste câmpuri electromagnetice.

Aparent, nu există constrângeri teoretice generale care să definească o limită inferioară pentru intensitatea câmpului electromagnetic ce poate afecta sistemele biologice. Toate constrângerile fizice sugerate până în prezent se bazează pe mecanismele primare specifice, propuse pentru traductorii de semnal electromagnetic și nu pe principiile fizice primare. Numai proiectarea microscopică a receptorului biologic și timpul de interacție coerentă cu câmpurile electromagnetice propriu acestuia definesc nivelul de hipersensibilitate în fiecare caz specific.

Un număr crescut de investigații [2] demonstrează că sistemele biologice pot fi afectate de câmpurile electromagnetice foarte slabe (la nivelul de sub 0,1 G). Aceste date, reprezentate schematic în figura 1 sunt semnificative datorită faptului că ele sunt puternic consistente cu oricare din mecanismele propuse, în figură se constată existența mai multor limite teoretice ale diferitelor mecanisme și descrieri ale bioefectelor câmpurilor electromagnetice. Limitele kT și termice sunt binecunoscute. Ultima a fost în mod repetat observată în multe cercetări științifice și este luată în calcul în cazul standardizării câmpurilor electromagnetice. Limita electrodinamicii cuantice necesită comentarii suplimentare.

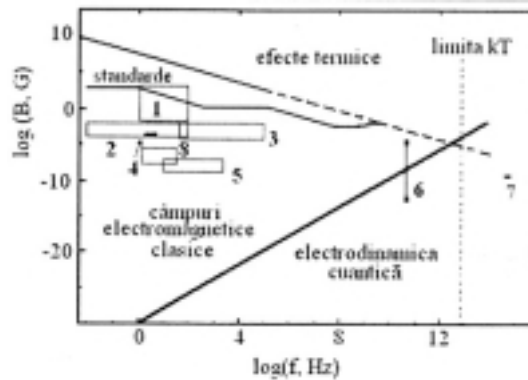


Fig. 1 – Limite și domenii ale efectelor biologice ale câmpurilor electromagnetice.

Interacțiunea dintre câmpul electromagnetic și substanță este clasificată în funcție de descrierea, clasică sau cuantică, atât a câmpului cât și a substanței. Cel mai adesea considerat mecanism primar presupune interacția particulelor materiale clasice cu un câmp electromagnetic clasic, ondulatoriu. Mecanismele predictive recent observate, care utilizează descrierea cuantică a ionilor în câmpuri electromagnetice clasice se bazează pe așa-numita aproximație semiclassicală. În acest caz, electrodinamica cuantică impune condițiile pentru o descriere validă a câmpurilor electromagnetice clasice: populațiile stărilor oscilatorilor generatori ai câmpurilor electromagnetice trebuie să fie suficient de mari în comparație cu unitatea. Această limită este reprezentată de linia înclinată din partea de jos a figurii. După cum se poate vedea, toate frecvențele joase au efecte dar efectele radiațiilor foarte slabe impun numai o descriere clasică a câmpului electromagnetic. Totuși, aceasta nu determină intensitatea minimă a câmpurilor electromagnetice detectabile de sistemele biologice. Constrângerea naturală a sensibilității electromagnetice a sistemelor biologice, ca de altfel a oricărui receptor de natură fizică, este determinată de legile generale ale mecanicii cuantice.

Figura ilustrează diferitele limite și domenii ale efectelor biologice ale câmpurilor electromagnetice ca funcție de două variabile, frecvența f și amplitudinea B a componentei magnetice. La stânga liniei verticale întrerupte, cuanta de energie electromagnetică este mai mică decât kT . Această linie definește un domeniu "paradoxal", în care efectele biologice nu sunt posibile din punct de vedere clasic. Linia descendentă separă destul de aproximativ domeniile bioefectelor termice și non-termice ale câmpurilor electromagnetice. Linia ascendentă este limita cuantică. Sub această linie, câmpurile electromagnetice impun o descriere ca un obiect cuantic. Linia descendentă în trepte reprezintă limita nivelului de securitate la expunerea la câmpuri electromagnetice, conform standardelor internaționale.

Domeniile marcate prin cifre reprezintă domenii de parametri ai:

- câmpurilor electromagnetice de foarte joasă frecvență utilizate în experimentele bioelectromagnetice;
- câmpurilor electromagnetice produse de furtuni magnetice cunoscute a fi în relație cu acutizarea bolilor cardiovasculare;
- câmpurilor electromagnetice de fond, produse de o varietate de aparate electrocasnice;
- câmpurilor electromagnetice care afectează unele soluții de aminoacizi;
- câmpurilor electromagnetice calculate la 0,5 m de dispozitive de protecție împotriva radiațiilor terminalelor video;
- câmpurilor electromagnetice sub limita electrodinamicii cuantice, care afectează semnificativ culturile celulare pragului de sensibilitate a ochiului uman;
- câmpurilor electromagnetice utilizate în metoda magnetoterapiei.

Așa cum se poate constata, majoritatea efectelor bioelectromagnetice se găsesc în domeniul “paradoxal” la stânga limitei kT. Abordarea semiclassicală ar putea fi suficientă pentru descrierea efectelor bioelectromagnetice. Totuși, absența unor mecanisme fizice primare predictive pentru câmpurile electromagnetice slabe, face atractivă aplicarea fizicii câmpurilor de torsiune în explicarea efectelor bioelectromagnetice.

3. ABORDARE CIBERNETICĂ

Abordarea cibernetică a efectelor biologice induse de câmpul electromagnetic începe prin conceperea sistemului viu ca o cutie neagră. Organismul este considerat ca având o organizare internă necunoscută și singurii factori implicați ca fiind accesibili investigației sunt câmpul electromagnetic aplicat (intrările) și efectul biologic (ieșirile). Datele empirice care descriu relațiile dintre diferite intrări și ieșiri sunt generalizate în legi empirice care permit înțelegerea proceselor componente relevante [3]. Legile empirice nu pot fi în conflict cu legile fizice, dar acestea nu se conformează obligatoriu unui proces sau comportare observată numai într-un model.

Datele obținute din diferitele și numeroasele experimente efectuate constituie baza acestei abordări și acestea pot fi exprimate concis astfel:

- câmpurile electromagnetice pot altera metabolismul oricărui sistem biologic al unui organism viu, inclusiv sistemele nervos, endocrin, cardiovascular, hematologic, imunitar și de reproducere;
- efectele prezentate de fiecare țesut sau sistem sunt destul de independente de tipul câmpului electromagnetic; astfel, pe de o parte, studiile arată că există căi comune ale desfășurării fenomenelor pentru câmpuri electromagnetice diferite spectral și că efectul major asociat cu specificitatea câmpului electromagnetic este acela că acesta determină mărimea și direcția efectului biologic, iar pe de altă

parte, unele caracteristici spectrale (modulația, etc.) apar ca fiind unele din cele mai importante, putând să modifice fundamental răspunsul biologic;

– un răspuns al organismului la acțiunea câmpului electromagnetic este determinat în parte de istoria fiziologică a acestuia și de predispozițiile genetice ale sale; organismele individuale, chiar dintr-o populație aparent omogenă, pot prezenta schimbări în sensuri opuse ale unui parametru biologic dependent de acțiunea câmpului electromagnetic;

– efectele biologice induse de câmpul electromagnetic pot fi caracterizate ca efecte adaptative sau compensatorii, prezentând organismul împreună cu un factor înconjurător, cu care acesta trebuie să se aconsodeze; aceste efecte ale expunerii la câmpul electromagnetic trebuie înțelese în termenii unui răspuns integraliv al întregului organism și astfel, în cazul organismelor vii, după detectarea câmpului electromagnetic, informația privitoare la acesta este comunicată sistemului nervos central care activează o arie largă de mecanisme fiziologice care sunt utile în furnizarea unui răspuns compensator.

4. ABORDARE ANALITICĂ

Abordarea analitică este un amestec de date empirice și de modele fizice care conduce la legi ce prevăd fenomene nedescoperite încă. Fizicianul, spre deosebire de biolog, abordează natura utilizând construcții care nu există: modele simple – în încercarea de a reduce numărul variabilelor și de a stabili relații funcționale. Metodologia nu a fost încă aplicată sistematic fenomenelor bioelectromagnetice și, din acest motiv, nu există explicații fizice complete ale efectelor biologice induse de câmpul electromagnetic. Totuși s-a evidențiat existența multor procese moleculare interesante, care ar putea explica aceste efecte. Astfel când un material este introdus într-un câmp electromagnetic, se pot petrece mai multe tipuri de procese moleculare: excitări și electronice; polarizare; efecte ale forțelor generate de câmp; căldură; alte efecte electronice și ionice.

Dacă, în plus, materialul este viu, se pot produce și alte procese adiționale, care sunt asociate nivelurilor celular sau superioare acestuia de organizare structurală. Acestea sunt considerate efecte biologice, spre deosebire de cele care se produc indiferent dacă materialul este viu sau nu (efecte fizice).

5. CONCLUZII

Numeroase studii efectuate în special în ultimii ani au dus la concluzia că ideea conform căreia radiațiile electromagnetice neionizante nu au nici un efect asupra sistemelor vii este complet falsă. Au fost puse în evidență numeroase efecte

ale diferitelor tipuri de unde electromagnetice (radio, microunde, radiații infraroșii, vizibile, ultraviolete, etc.) asupra diferitelor sisteme vii sau asupra unor organe și țesuturi ale acestora, inclusiv asupra omului.

La interacțiunea dintre câmpurile electromagnetice și sistemele biologice (efectul bioelectromagnetic) contribuie în mod esențial procese de niveluri ierarhice diferite dintr-un organism viu, de la cel molecular (bio)fizic, la procese biologice adaptive complexe, mecanismele de interacțiune a câmpului electromagnetic cu mediul biologic putând fi privite prin prisma a două modalități de abordare: cibernetică și analitică.

Universitatea din Pitești

BIBLIOGRAFIE

1. M. Călugăreanu, C. Stănescu, S. Anghel, T. Ciuchiță, *Some aspects in bioelectronics*, RSEE'98 May 27-30, p. 49, Felix, Romania.
2. J.R. Parker, *Some aspects concerning the electromagnetic field*, John Wiley & Sons, 1997.
3. I. Karube, *Handbook of Measurement Science*, Vol. III, Edited by Synderham, 1992.