

STUDII TEORETICE
PRIVIND PROPAGAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC
DE UNDE MILIMETRICE ÎN MEDIILE BIOLOGICE VII

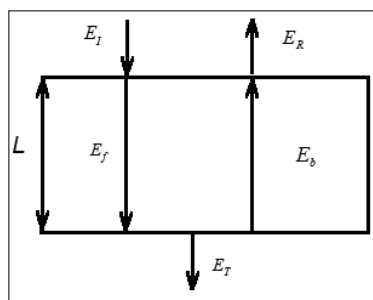
Dragoș Bogdan RUSU

Institutul de Inginerie Electronică și Tehnologii Industriale al AȘM

In this article the theoretical issues of high frequency electromagnetic field propagation in complex living organism medium are studied in order to obtain a proper evaluation and scientific approach for non-thermal biological effects manifested at millimeter wave „in vivo” irradiation (30–300 GHz). Our main hypothesis starts from the following fact: living biological tissues are heterogeneous dielectrically structures and can be assimilated with a Fabry – Pérot resonator. Consequently, are studied the incident, respectively, reflected and transmitted electromagnetic field intensity of internal and reflected wave. Taking into account the Maxwell equations, we obtain the relationships between electromagnetic field energy densities. After applying a specific theoretical algorithm in which we consider that every of biological tissue layer is characterized by its own refraction and absorption coefficient, respectively by its own phase, we obtain the expression which characterizes the transmitted energy density after electromagnetic field propagation through n layers. By this mathematical expression we can quantify the electromagnetic energy after propagation through a biological medium.

Studiul propagării câmpului electromagnetic de foarte înaltă frecvență (30–300 GHz) în mediile biologice vii reprezintă un aspect deosebit de important în evaluarea și interpretarea științifică a influenței undelor milimetrice de joasă intensitate asupra organismelor biologice complexe [1-40]. În abordarea de față, modelarea fizico-matematică pornește de la ipoteza că țesuturile biologice vii reprezintă structuri dielectrice eterogene, de tip **rezonator Fabry – Pérot**.

Fie E_I , E_R , E_T , E_f și E_b intensitatea câmpului electromagnetic incident, respectiv reflectat, de transmisie, al unei unde interne ce se propagă de sus în jos și a unei unde reflectate ce se propagă de jos în sus (*a se vedea* Figura).



Vom presupune că unda electromagnetică milimetrică cade perpendicular pe țesutul biologic țintă, astfel încât unghiurile de incidență, reflexie și refracție vor fi nule.

Condițiile de frontieră ale unui rezonator Fabry – Pérot au forma [41-42]:

$$\begin{aligned} E_f(0) &= \sqrt{T}E_I + \sqrt{R}E_b(0) \\ E_b(L) &= \sqrt{R}E_f(L) \\ E_T &= \sqrt{T}E_f(L) \end{aligned} \quad (1)$$

unde:

- L – grosimea țesutului biologic;
- T – coeficientul de transparență;
- R – coeficientul de refracție.

În continuare, vom exprima unda directă $E_f(0)$ și unda inversă $E_b(0)$ în punctul $x = 0$ sub forma unui produs:

$$\begin{aligned} E_f(0) &= \varepsilon_f(0) \cdot e^{i\Psi_{f0}} \\ E_b(0) &= \varepsilon_b(0) \cdot e^{i\Psi_{b0} + i\varphi} \end{aligned} \quad (2)$$

unde $\varepsilon_f(0)$ și $\varepsilon_b(0)$ sunt amplitudinile unei directe, respectiv, ale unei inverse, iar Ψ_{f_0} , Ψ_{b_0} și Ψ – fazele undelor.

Substituind ecuațiile (2) în ecuațiile (1), obținem:

$$\sqrt{T}E_I = \varepsilon_f(0) \cdot e^{i\Psi_{f_0}} - \sqrt{R}\varepsilon_b(0) \cdot e^{i\Psi_{b_0} + i\varphi} \quad (3)$$

Conjugata ecuației (3) are următoarea formă:

$$\sqrt{T}E_I^* = \varepsilon_f^*(0) \cdot e^{-i\Psi_{f_0}} - \sqrt{R}\varepsilon_b^*(0) \cdot e^{-i\Psi_{b_0} - i\varphi} \quad (4)$$

Înmulțind parte cu parte expresiile (3) și (4), obținem:

$$\frac{T}{|E_I|^2} = |\varepsilon_f(0)|^2 + R \cdot |\varepsilon_b(0)|^2 - \sqrt{R}\varepsilon_f(0)\varepsilon_b^*(0) \cdot e^{i(\Psi_{f_0} - \Psi_{b_0} - \varphi)} - \sqrt{R}\varepsilon_b(0)\varepsilon_f^*(0) \cdot e^{-i(\Psi_{f_0} - \Psi_{b_0} - \varphi)} \quad (5)$$

Ținând cont că $T + R = 1$, expresia (5) poate fi scrisă sub forma:

$$\frac{(1-R)}{|E_I|^2} = |\varepsilon_f(0)|^2 + R \cdot |\varepsilon_b(0)|^2 - \sqrt{R}\varepsilon_f(0)\varepsilon_b^*(0) \left[\cos(\Psi_{f_0} - \Psi_{b_0} - \varphi) + i \sin(\Psi_{f_0} - \Psi_{b_0} - \varphi) \right] - \sqrt{R}\varepsilon_b(0)\varepsilon_f^*(0) \left[\cos(\Psi_{f_0} - \Psi_{b_0} - \varphi) - i \sin(\Psi_{f_0} - \Psi_{b_0} - \varphi) \right] \quad (6)$$

Deoarece amplitudinile $\varepsilon_f(0)$ și $\varepsilon_b(0)$ sunt mărimi reale, din expresia (6) obținem:

$$\frac{(1-R)}{E_I^2} = |\varepsilon_f(0)|^2 + R \cdot |\varepsilon_b(0)|^2 - 2\sqrt{R} \cdot \varepsilon_f(0)\varepsilon_b(0) \cos(\varphi + \Psi_{b_0} - \Psi_{f_0}) \quad (7)$$

Vom nota prin $W_{f_0} = \varepsilon_f^2(0)$, $W_{b_0} = \varepsilon_b^2(0)$ și $W_I = E_I^2$ densitățile de energie ale câmpului electric. Din expresia (1) vor rezulta relațiile dintre densitățile de energie ale câmpului electric:

$$W_b(L) = RW_f(L) \text{ și } W_T = TW_f(L)$$

Deoarece țesutul biologic poate fi considerat un mediu dielectric, câmpul electromagnetic în caz general se descrie prin ecuațiile lui Maxwell [43]:

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (8)$$

$$\text{rot}\vec{H} = -\frac{4\pi}{c} \vec{j}_{pol} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (9)$$

$$\text{div}\vec{E} = 4\pi\rho \quad (10)$$

$$\text{div}\vec{H} = 0 \quad (11)$$

unde \vec{j}_{pol} este densitatea curentului de polarizare, iar ρ este densitatea sarcinii în mediul dielectric considerat. Aplicând operatorul „rot” expresiei (8), vom obține:

$$\text{rot}(\text{rot}\vec{E}) = \text{rot}\left(-\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}\right) = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \cdot \text{rot}\vec{H} \quad (12)$$

Ținând cont de egalitatea

$$\text{rot}(\text{rot}\vec{E}) = \text{grad}(\text{div}\vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} \quad (13)$$

și de ecuația (9) a lui Maxwell, câmpul electromagnetic în mediul biologic va avea următoarea formă:

$$\text{grad}(\text{div}\vec{E}) - \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{4\pi}{c} \vec{j}_{pol} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right] \quad (14)$$

sau, ținând cont de faptul că $\text{grad}(\text{div}\vec{E}) = 0$ și $\vec{j}_{pol} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$, unde \vec{P} este vectorul de polarizare al dielectricului, din expresia (14) obținem:

$$\begin{aligned} -\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{E} &= -\frac{4\pi}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \vec{j}_{pol} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad |(-1) \Rightarrow \\ \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{E} &= \frac{4\pi}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (15)$$

Deoarece în cazul considerat, undele electromagnetice se propagă numai într-o singură direcție, vom presupune că ele se propagă pe direcția x . Prin urmare, ecuația (15) va avea forma:

$$c^2 \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 4\pi \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (16)$$

Vom reprezenta intensitatea câmpului electric E și polarizarea P în forma:

$$\begin{aligned} E &= \tilde{\varepsilon} \cdot e^{-i\omega t + ikx} \\ P &= \tilde{p}_d \cdot e^{-i\omega t + ikx} \end{aligned} \quad (17)$$

unde $\tilde{\varepsilon}$ și \tilde{p}_d sunt funcții lent variabile, iar ω și k sunt frecvența și, respectiv, vectorul de undă al câmpului electromagnetic în țesutul biologic.

Substituind expresiile (17) în ecuația (16), vom obține:

$$\begin{aligned} c^2 \left[\frac{\partial^2 \tilde{\varepsilon}}{\partial x^2} + 2ik \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x} - k^2 \tilde{\varepsilon} \right] \cdot e^{-i\omega t + ikx} - \left[\frac{\partial^2 \tilde{\varepsilon}}{\partial t^2} - 2i\omega \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t} - \omega^2 \tilde{\varepsilon} \right] \cdot e^{-i\omega t + ikx} &= \\ = 4\pi \cdot \left[\frac{\partial^2 \tilde{p}_d}{\partial t^2} - 2i\omega \frac{\partial \tilde{p}_d}{\partial t} - \omega^2 \tilde{p}_d \right] \cdot e^{-i\omega t + ikx} \end{aligned} \quad (18)$$

Ținând cont de faptul că funcțiile $\tilde{\varepsilon}$ și \tilde{p}_d sunt lent variabile, derivatele de ordinul II din ecuația (18) se pot neglija. Acest lucru este posibil dacă se respectă următoarele inegalități:

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t} \right| &\leq \omega |\tilde{\varepsilon}|, & \left| \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x} \right| &\leq k |\tilde{\varepsilon}| \\ \left| \frac{\partial \tilde{p}_d}{\partial t} \right| &\leq \omega |\tilde{p}_d|, & \left| \frac{\partial \tilde{p}_d}{\partial x} \right| &\leq k |\tilde{p}_d| \end{aligned} \quad (19)$$

Prin urmare, ținând cont de aproximațiile de mai sus, din ecuația (18) obținem:

$$2ikc^2 \cdot \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x} - c^2 k^2 \tilde{\varepsilon} + 2i\omega \cdot \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t} + \omega^2 \tilde{\varepsilon} = -8\pi i\omega \cdot \frac{\partial \tilde{p}_d}{\partial t} - 4\pi \omega^2 \tilde{p}_d \quad (20)$$

În continuare, se va analiza propagarea staționară a câmpului electromagnetic în țesutul biologic și, prin urmare, funcțiile lent variabile $\tilde{\varepsilon}$ și \tilde{p}_d sunt independente de timp. În acest caz, din ecuația (20) obținem:

$$2ikc^2 \frac{d\tilde{\varepsilon}}{dx} + (\omega^2 - c^2 k^2) \cdot \tilde{\varepsilon} = -4\pi \omega^2 \cdot \tilde{p}_d \quad (21)$$

În cazul general, funcțiile $\tilde{\varepsilon}$ și \tilde{p}_d sunt funcții complexe și pot fi scrise în următoarea formă:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon \cdot e^{i\Phi}, \quad \tilde{p}_d = (u + iv) \cdot e^{i\Phi} \quad (22)$$

Substituind formulele (22) în ecuația (21), vom obține:

$$\frac{d\varepsilon}{dx} = -\frac{2\pi\omega^2}{kc^2} \cdot v \quad (23)$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{\omega^2 - c^2k^2}{2kc^2} + \frac{4\pi\omega^2}{2kc^2} \cdot u \quad (24)$$

Pentru majoritatea țesuturilor biologice, valoarea polarizării este direct proporțională cu intensitatea câmpului electric:

$$v = s \cdot \varepsilon \quad (25)$$

unde s este susceptibilitatea electrică a țesutului biologic.

Prin urmare, pentru intensitatea câmpului electric în mediul biologic vom obține următoarea ecuație diferențială:

$$\frac{d\varepsilon}{dx} = -\alpha\varepsilon \quad (26)$$

unde α este coeficientul liniar de absorbție.

Din ecuația (26) rezultă că dependența unei directe ε_f de coordonata x este descrisă de ecuația de mai jos:

$$\frac{d\varepsilon_f}{dx} = -\alpha\varepsilon_f \quad (27)$$

Analog, se poate demonstra că dependența de coordonata x a unei reflectate (inverse) ε_b satisface următoarele ecuații:

$$\frac{d\varepsilon_b}{dx} = \alpha\varepsilon_b \quad (28)$$

$$\frac{d\varepsilon_f}{d\varepsilon_b} = -\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_b}, \quad \frac{d\varepsilon_f}{\varepsilon_f} + \frac{d\varepsilon_b}{\varepsilon_b} = 0. \quad (29)$$

Astfel, după integrarea ecuației (29) se obțin următoarele expresii:

$$\begin{cases} h \varepsilon_f + h \varepsilon_b = h C \\ \varepsilon_f \varepsilon_b = C \end{cases}$$

Din relațiile (1) rezultă că:

$$W_{bL} = RW_f(L), \quad W_T = TW_f(L) \quad (30)$$

Prin integrarea ecuațiilor diferențiale (27) și (28) se obține dependența intensității câmpului electric de coordonata x :

$$\begin{aligned} \varepsilon_f &= c_1 \cdot e^{-\alpha x} \\ \varepsilon_b &= c_2 \cdot e^{-\alpha x} \end{aligned} \quad (31)$$

de unde rezultă că:

$$C = \varepsilon_f \varepsilon_b = \varepsilon_{f(0)} \cdot \varepsilon_{b(0)} = \varepsilon_{f(L)} \cdot \varepsilon_{b(L)} \quad (32)$$

sau

$$c = \sqrt{W_{f(0)} \cdot W_{b(0)}} = \frac{\sqrt{R}}{T} \cdot W_T \quad (33)$$

Utilizând expresiile (30) – (33), obținem următoarele relații:

$$W_{f(0)} = W_{f(L)} \cdot e^{2\alpha L} = \frac{W_T}{T} \cdot e^{2\alpha L} \quad (34)$$

$$W_{b(0)} = W_{b(L)} \cdot e^{2\alpha L} = \frac{R}{T} \cdot W_T \cdot e^{2\alpha L} \quad (35)$$

Ținând cont de expresiile (34) și (35), relația (7) va căpăta următoarea formă:

$$(1-R) \cdot W_I = \frac{W_T}{T} \cdot e^{2\alpha L} + \frac{R^2}{T} \cdot W_T \cdot e^{-2\alpha L} - \frac{2R}{T} \cdot W_T \cos \alpha \quad (36)$$

Interes pentru noi prezintă raportul dintre densitatea energiei transmise și densitatea energiei incidente, după parcurgerea grosimii L a stratului biologic:

$$\frac{W_T}{W_I} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \quad (37)$$

Din ecuația (37) se poate observa că în cazul $R \neq 0$ și $\varphi \neq 0$ raportul mai sus exprimat este < 1 și depinde de coeficientul de reflexie al mediului biologic și de faza undei.

În cazul general putem considera că mediul biologic este compus dintr-o sumă de straturi dielectrice separate între ele și, prin urmare, unda de transmisie după parcurgerea stratului dielectric respectiv poate fi considerată drept undă incidentă pentru următorul strat. Vom presupune că fiecare „strat” este caracterizat prin proprii coeficienți de refracție R_i și absorbție, respectiv de fazele φ_i . În acest caz, densitatea energiei transmise după propagarea câmpului electromagnetic prin n straturi se determină generalizând expresia (37) după cum urmează:

$$W_{T_n} = \frac{W_{I_n}}{\prod_{i=1}^n \left(1 + \frac{4R_i}{(1-R_i)^2} \cdot \sin^2 \frac{\varphi_i}{2} \right)} \quad (38)$$

Expresia de mai sus permite determinarea energiei electromagnetice după trecerea câmpului electromagnetic prin mediul biologic considerat.

Bibliografie:

1. Deviatcov N.D., Betskii O.V. Biological Aspects of Low Intensity Millimeter Waves. – Moscow, 1994.
2. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – Москва, Сайнс-пресс, 2004.
3. Девятков Н. Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – Москва: Радио и связь, 1991.
4. Люсов В.А. Коррекция гемореологических нарушений у больных нестабильной стенокардией методом мм-терапий // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – 1995. – №5.
5. Люсов В.А., Лебедева А.Ю. Щелкунова И.Г. Некоторые механизмы влияния миллиметрового излучения на патогенез нестабильной стенокардии // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – Москва, 1995.
6. Люсов В.А., Лебедева А.Ю., Федулаев Ю.Н. Использование комбинированной инфракрасной лазерной и мм-терапий у амбулаторных больных со стенокардией напряжения // Материалы V Всероссийского Съезда кардиологов. – Челябинск, 1996.
7. Люсов В.А., Лебедева А.Ю. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы / 11-ый Российский симпозиум с международным участием „Миллиметровые волны в медицине и биологии”. – Москва, 1997.
8. Лебедева А.Ю. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении сердечно-сосудистых заболеваний // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – №1.
9. Лебедева А.Ю. Итоги и перспективы применения миллиметровых волн в кардиологии. Биомедицинская радиоэлектроника // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – 2002. – №1. – С.21-24.

10. Шаидюк О.Ю., Гордеев И.Г., Лебедева А.Ю. КВЧ-терапия в лечении стенокардии напряжения с эпизодами безболевого ишемии миокарда // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – 2002. – №1. – С.24-31.
11. Смирнова М.Ю., Блохина Т.Б., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. Динамика показателей калликреин-кининовой системы у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД / 13-ый Российский симпозиум с международным участием „Миллиметровые волны в медицине и биологии”. – Москва, 2003, с.69.
12. Смирнова М.Ю., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. Коррекция нарушений в системе гемостаза у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД / 13-ый Российский симпозиум с международным участием „Миллиметровые волны в медицине и биологии”. – Москва, 2003, с.71.
13. Смирнова М.Ю., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. Состояние микроциркуляторных русла у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД / 13-ый Российский симпозиум с международным участием „Миллиметровые волны в медицине и биологии”. – Москва, 2003, с.72.
14. Лопатина М.А., Головачева Т.В., Паршина С.С., Киричук-Афанасьева Т.Н., Медведева Б.А. Влияние ЭМИ ММД на показатели антикоагулянтной защиты у больных с различными классами нестабильной стенокардии / 13-ый Российский симпозиум с международным участием „Миллиметровые волны в медицине и биологии”. – Москва, 2003, с.14-17.
15. Щелкунова И.Г., Матренина И.В., Лебедева А.Ю. ММ-терапия некоронарогенных поражений миокарда // Миллиметровые волны в медицине и биологии (Москва). – 2003. – №1. – С.61-58.
16. Плетнев С.Д., Использование ММ-излучения в онкологии // Медико-биологические проблемы ММ волн, ИРЭ АН СССР, 1987.
17. Pletnev S.D. The use of Millimeter Band Electromagnetic Waves in Clinical oncology // Critical Reviews in Biomedical Engineering. – 2000. – No29(2). – P.573-588.
18. Плетнев С.Д. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона при лечении онкологических больных // Миллиметровые волны в медицине и биологии. ИРЭ АН СССР. – 1991. – С.76-81.
19. Кабисов Р.К. Миллиметровые волны в онкологии: реальности, проблемы, перспективы // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – 1991. – №1. – С. 55-61.
20. Кабисов Р.К. Миллиметровые волны в системе реабилитации онкологических больных // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – (№1). – С.48-55.
21. Темпоне М.В., Авакян Р.С. Крайневысокочастотная терапия в онкологии // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – 2003. – №1. – С. 3-19.
22. Chromova S.V. Modification of rats beha-viour reactions by MM-wave radiation: Autoref. dis. B. S. C, M., 1990, p.157, Ins-te of High Ner vous activity and Neuro-physiology, RAS.
23. Tsaritsinsky V.I., Taranskaya A.D., Der-kach B.N. The use of EMF of mm-range in treatment of depressive states / Inter. symp. „Millimetre waves of non-thermal intensity in medicine”. – Moscow: IRE AS of the USSR, 1991, p.229-234.
24. Gaponiuk P.Y., Kovalenko L.V., Sotni-kov O.S. et al. Reconstructive processes in the nerve irradiated with low-intensity EMF of MM-band / Use of EHF-radiation oflow intensity in biology and medicine. Moscow: IRE AS of the USSR, 1989, p.79.
25. Berus A.V., Stolbikov A.E., Shmal O.V. et al. Peculiarities of change of parameters of EEG-spectrum in the EHF-therapy hypertonic patients with different types of hemodynamics / Inter. symp. „Millimetre waves of non-thermal intensity in medicine”. – Moscow: IRE AS of the USSR, 1991, p.114-119.
26. Lebedeva N.N. Responses of the central nervous system of the man to electromagnetic fields with different biotrope parameters: Autoref diss. DBS. – Moscow, Inst., 1982, p.48.
27. Пославский М.В. Лечение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки // Вопросы использования электромагнитных излучений малой мощности крайне высоких частот (миллиметровых волн) в медицине. – Ижевск: Удмуртия, 1991, с.102-133.
28. Брискин Б.С., Ефанов О.И., Букатко В.Н. Дифференцированное применение миллиметровых волн на стационарном этапе лечения острого деструктивного панкреатита // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2002. – №4. – С.50-54.
29. Каричук В.Ф., Лепилин А.В., Апалков И.П., Геряськая Т.В. Применение КВЧ-терапии в лечении больных с генерализованным пародонтитом // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2003. – №1. – С.69-72.
30. Адаскевич В.Г. Эффективность применения электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении больных атоническим дерматитом // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1994. – № 3. – С.78-81.
31. Пуляева Б.А., Ветохина СВ. Применение КВЧ-терапии при лечении генитального герпеса // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1997. – №9-10. – С.55-56.
32. Betskii O.V., Ghitsu D.V., Rotaru A.H., Chiobanu N.V. The non-linear dielectric permittivity during excitation of coherent excitation coherent phonons in biological objects // 13th Russian Symposium “Millimeter waves in medicine and biology” (Moscow). – 2003. – P.118-121
33. Betskii O.V., Ghitsu D.V., Gropa S., Rotaru A.H., Rotaru D., Tabirna Gh. Utilizarea undelor milimetrice de intensitate atermică în medicină // Analele Științifice ale USM și F. „N. Testemițeanu”. – Chișinău, 2003, p.164.
34. Sitko S. The crucial evidence in favour of the fundamentals of physics of the alive // Physics of the Alive., 1998. – Vol.6. – No1. – P.6-10.
35. Ситько С.П., Мкртгян А.Н. Введение в квантовую медицину. – Киев: Паттерн, 1994.
36. Бецкий О.Б. Вода и электромагнитные волны // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – №2. – С.3-6.

37. Rotaru A.H., Ciobanu N., Ghițu D., Gereghi Th., Rotaru D. Nonlinear dynamics at interaction of coherent electromagnetic millimeter waves with bi macromolecules / Материалы Первой Международной научно-практической конференции «Нетрадиционные методы в медицине, биологии и растениеводстве. Этиология. Экология и Здоровье». – Кишинев, 2005, с.476-482.
38. Логинов В.И., Хаитаров И.Н., Корнаузов А.В., Анисимов С.Н. Электромагнитное излучения КВЧ- диапазона с шумовым спектром в хирургии, <http://www.ehf.unn.ru>.
39. Анисимов С.Н., Логинов В.И., Дрёмин Д.А. Применение волн миллиметрового диапазона в лечении ран мягких тканей, <http://www.ehf.unn.ru>.
40. Матросов Н.И. Влияние миллиметровых волн на иммунологическую реактивность организма и заживление гнойных ран // „Миллиметровые волны в медицине и биологии”. – 2000. – №1. – С.9-12.
41. Ротару А.Х., Залож В.А. Оптическая самоорганизация экситонов и биэкситонов в полупроводниках. – Кишинёв: Штиинца, 1990, с.115.
42. Хаджи П.И. Нелинейные оптические процессы в системе экситонов и биэкситонов в полупроводниках. – Кишинёв: Штиинца, 1985, с.209.
43. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред, т.8, 1972.

Prezentat la 13.04.2009