

## ბიოფეფქტური სიხშირეები და ელექტრომაგნიტური ველი, როგორც ეკოლოგიური ფაქტორი

გოცირიძე ნ. შ., გოცირიძე თ. ნ.

თსსუ-ის ფუნქციური მორფოლოგიის დეპარტამენტი. ინფორმატიკის, მათემატიკის, ბიომექანიკის და კინეზიოლოგიის მიმართულება

### ანოტაცია:

ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ ცოცხალი სტრუქტურებისთვის გარეშე ველების ბიოფეფქტური სიხშირეები, შეიძლება განისაზღვროს, არა მხოლოდ ექსპერიმენტების საშუალებით, არამედ გამოითვალოს პარამეტრული რეზონანსის თეორიის საშუალებით. როგორც მაგალითი, მოყვანილია დნმ-ის მოლეკულის საკუთარი სიხშირის შესაბამისი რეზონანსული სიხშირის გამოთვლა.

აგრეთვე განხილულია, თუ როგორ პირობებში, შეიძლება გამოვიყენოთ მაკრომოლეკულების კონა, როგორც ოპტიკური ბოჭკოები. სინათლის მიმართ მაკრომოლეკულების კონის დიელექტრიკული შეღწევადობა  $\epsilon_d$  მეტია ელექტროლტების დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე –  $\epsilon_{ელ}$ . უტოლობა  $\epsilon_d > \epsilon_{ელ}$  არის აუცილებელი პირობა იმისა, რომ ელექტროლიტში ჩაძრული D-დიამეტრის მქონე მაკრომოლეკულების კონა ასრულებდეს ოპტიკური ბოჭკოს როლს. ამ პირობებიდან გამომდინარე გამოთვლილია ბოჭკოების მინიმალური დიამეტრი  $D_{min} \approx 2 \cdot 10^{-7}$  მ. გამოთქმულია ვარაუდი, რომ მსგავსი ბოჭკოები გამოვიყენოთ მედიცინაში, კერძოდ ოფთალმოლოგიაში.

ტექნოგენური ბუნების დაბალი სიხშირის ემვ-ის ადამიანზე მავნე ზემოქმედების თავიდან ასაცილებლად, შემოთავაზებულია დაცვის ტექნიკური საშუალებები და ჰიგიენური ნორმები. ჰიგიენური ნორმები გულისხმობს დასხივების ზღვრულ დასაშვებ ნორმებს, რომლის გადაჭარბებაც სახიფათოა ადამიანისთვის.

საზოგადოების განვითარებამ გამოიწვია ელექტრომაგნიტური ველების ფართომასშტაბიანი გამოყენება. დედამიწის მაგნიტური ველი, კოსმოსური სხივები, მაგნიტური ქარიშხლები, სხვადასხვა ხელოვნური და ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ველები უცილობელ ზემოქმედებას ახდენენ ადამიანის ორგანიზმზე, რამაც აქტუალური გახადა ამ პრობლემების შესწავლა [1].

სავარაუდოა, რომ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას გააჩნია როგორც სანოგენური, ასევე პათოგენური ეფექტები. გარეშე ელექტრომაგნიტურ ველებს შეუძლიათ შეცვალონ ბიოპოტენციალები როგორც უჯრედულ, ასევე ორგანიზმულ დონეზე. მოახდინონ სხვადასხვა ბიომაკრომოლეკულების კონფორმაციული გარდაქმნები და გამოიწვიონ ორგანიზმის და მისი შემადგენელი სტრუქტურების ფუნქციონირების ცვლილებები [2].

ყველა ბიოლოგიური ქსოვილები მათი მაგნიტური თვისებების თვალსაზრისით წარმოადგენენ სუსტ დია ან –პარამაგნიტებს. აქედან გამომდინარე, მათი მაგნიტური ამთვისებლობა  $\mu$  პრაქტიკულად ერთის ტოლია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ თუ ჩვენ გვინტერესებს მაგნიტური ველის მოქმედება უჯრედის აგზნების პროცესზე, აგზნებისა, რომლის ერთი იმპულსის ხანგრძლივობაც  $\tau \sim 10^{-2}$  წამია, მაშინ ისეთი ცვლადი მაგნიტური ველი, რომლის რხევის პერიოდია  $T \gg 10^{-2}$  წმ (ან რაც იგივეა  $v \ll 100$  ჰც) შეგვიძლია ჩავთვალოთ მუდმივ მაგნიტურ ველად ასეთი პროცესების მიმართ. თუ, მაგალითად, ჩვენ ვსწავლობთ ცვლადი მაგნიტური ველის გავლენას გულის მუშაობის პროცესზე, რომლის პერიოდიც  $\tau \sim 1$  წამია (გულის კუნთის მუშაობის ერთი სრული ციკლის ხანგრძლივობა), მაშინ მაგნიტური ველი რხევის პერიოდით  $T \gg 1$  წმ, ე.ი. სიხშირე  $v \ll 1$  ჰც-ზე, შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც მუდმივი მაგნიტური ველი.

სასიცოცხლო პროცესების დროს ელექტრული დენები წარმოიქმნება ორგანიზმის თითქმის ყველა ნაწილში. ეს არის მუდმივი დენის ისეთი კარგი გამტარები, როგორებიცაა: მაგალითად, სისხლი და ლიმფა, აგრეთვე ნერვული აგზნების გამტარი არხები და გულის მუშაობის პროცესში წარმოქმნილი დენები. მუდმივ მაგნიტურ ველს შეუძლია იმოქმედოს უჯრედის მემბრანის განვლადობის ხასიათზეც და შეცვალოს მისი სიდიდე.

რაც შეეხება ცვლადი მაგნიტური ველის მოქმედებას ცოცხალ ორგანიზმზე, მხედველობაში გვაქვს გარკვეული სიხშირის მაგნიტური ველი ან გარკვეული სიხშირეების მაგნიტური ველების ერთობლიობა. როდესაც საუბარია ორგანიზმის რომელიმე კონკრეტულ სასიცოცხლო პროცესზე, ასეთი მაგნიტური ველების ზემოქმედებებზე, უნდა განისაზღვროს ამ პროცესების მახასიათებელი დრო  $\tau$ . მოცემულ პროცესზე ცვლადი მაგნიტური ველის ზეგავლენის შესწავლისას ცვლად მაგნიტურ ველს უნდა მივაკუთვნოთ მხოლოდ ისეთი რხევები, რომელთა სიხშირეები  $v \gg \frac{1}{\tau}$  -ზე. არსებობს ნივთიერებასთან ცვლადი მაგნიტური ველის ურთიერთქმედების

მხოლოდ ერთი გზა – ჩაკეტილ გამტარ კონტურში ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალის აღძვრა და მისი საშუალებით სხვა პროცესებზე ზემოქმედება. მუდმივი მაგნიტური ველისაგან განსხვავებით, ცვლადი მაგნიტური ველი გარემოსთან ურთიერთქმედებას ახორციელებს მხოლოდ ჩაკეტილი გამტარი კონტურის არსებობის შემთხვევაში. რეალურად, ნივთიერებაში ყოველთვის გვაქვს ჩაკეტილი დენიანი კონტურები, მაგალითად ატომში ელექტრონული ორბიტების სახით. რაც შეეხება მაკროსკოპული მასშტაბის ჩაკეტილ გამტარ კონტურებს ცოცხალ ორგანიზმში და მითუმეტეს ადამიანის სხეულში, ასეთები უამრავია. პირველ რიგში უნდა გამოვყოთ ნერვული ბოჭკოები, სისხლი და ლიმფის სადინრები.

არსებობს ცოცხალ ორგანიზმზე მაგნიტური ველის მოქმედების კიდევ ერთი შესაძლებლობა. ამ ორგანიზმში არსებული მაგნიტურ ჩანართებზე (მაგნიტორეცეპტორები) გავლენის მოხდენის გზით.

ბიოლოგიური ქსოვილები შეიძლება ორ ჯგუფად დავყოთ. პირველ ჯგუფს განეკუთვნებიან ქსოვილები, რომლებიც შეიცავენ 80%-ზე მეტ წყალს (კანი, სისხლი, კუნთები, ორგანოები და სხვ.). მეორე ჯგუფს განეკუთვნებიან ქსოვილები, რომლებიც შეიცავენ წყალს შედარებით მცირე რაოდენობით (ცხიმოვანი და ძვლოვანი ქსოვილები). ასეთი ტიპის დაყოფა განპირობებულია იმით, რომ წყალი ხასიათდება შედარებით მაღალი დიელექტრული შეღწევადობით –  $\epsilon$  და გამტარებლობით –  $\sigma$ . ამიტომ

ქსოვილებში წყლის რაოდენობრივი შემადგენლობა განსაზღვრავს ქსოვილების ელექტრული თვისებების მნიშვნელოვან განსხვავებას. ცოცხალი ორგანიზმების ქსოვილების ელექტრული თვისებები ელექტრომაგნიტურ ველში (ემვ) – არსებითად იცვლება ამ უკანასკნელის სიხშირის ცვლილებებისას. მთლიანობაში ემვ-ის სიხშირის ზრდისას ქსოვილის დიელექტრიკული შეღწევადობა  $\epsilon$  მცირდება, ხოლო გამტარობა –  $\sigma$  კი იზრდება. მათ შორის კავშირი განისაზღვრება ფორმულით:

$$tg\delta = \frac{\sigma}{\omega\epsilon\epsilon} \quad (1)$$

$tg\delta$  -ს უწოდებენ კარგვის კუთხის ტანგენსს. ელექტრული ველის სიდიდე ქსოვილის შიგნით ზოგადად დამოკიდებულია ქსოვილის ელექტრულ თვისებებზე და მის გეომეტრიულ ფორმაზე:

$$E = K_0 \frac{E_0}{|\epsilon^*|} \quad (2)$$

სადაც  $|\epsilon^*|$  - კომპლექსური დიელექტრიკული შეღწევადობის მოდულია;  $E_0$ -გარეშე ელექტრული ველის დამაბულობა;  $K_0$ -კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ქსოვილის ფორმაზე და ველების ვექტორების მიმართ ორიენტაციაზე (სფეროსთვის  $K_0=3$ , სიბრტყისთვის  $K_0=1$ ).

ქსოვილის შიგნით ელექტრული ველი ნაწილობრივ განიცდის ეკრანირებას, ნივთიერების თავისუფალი და ბმული მუხტების პოლარიზაციის გამო. იმისათვის, რომ რაოდენობრივად შევაფასოთ ველის შემცირების ხარისხი ნივთიერების შიგნით, მოსახერხებელია ეკრანირების პარამეტრების ცნების შემოტანა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$K = \frac{E_0}{E}, |\epsilon^*| = \sqrt{1 + (tg\delta)^2} \quad (3)$$

ქსოვილში შეღწევისას ემვ-ის ენერგიის შთანთქმა გამოიწვევს ელექტრული ველის ამპლიტუდის და ენერგიის ნაკადის შემცირებას. რაოდენობრივად ეს შეიძლება დავახასიათოთ პარამეტრით – შეღწევის სიღრმე –  $d$ , რომელიც განისაზღვრება როგორც მანძილი, რომელზეც ელექტრული ველის ამპლიტუდა მცირდება  $e$ -ჯერ, ხოლო სიმძლავრის შთანთქმის სიმკვრივე  $e^2$ -ჯერ. როდესაც ელექტრომაგნიტური ტალღა (ემტ) ქსოვილის ბრტყელ ფენას ეცემა, შეიძლება შეღწევის სიღრმე გამოვითვალოთ ფორმულით:

$$d = \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{\frac{\epsilon}{2}(\sqrt{1+(tg\delta)^2}-1)}} \quad (4)$$

ამ ფორმულით გამოთვლილი შეღწევის სიღრმე –  $d$  მოცემულია ცხრილებში 1, 2.

ცხრილი 1

ბიოლოგიური ქსოვილების ენერგეტიკული თვისებები და ემტ-ის პარამეტრები წყლის მაღალი შემცველობის ქსოვილებში

სიხშირე ჰც	ტალღის სიგრძე $\lambda_0$ , სმ	დიფერენციალური შელწვევადობა	ტამბარებლობა $\sigma$ , 1/ომი	კარტეის ტანგენსი tg $\delta$	ტარეშეველის ეკვანთების კოეფიციენტი $K_{ექვ}$	ტალ. სიგრძე ქსოვილში $\lambda$ , კს. სმ.	შელწვევის სიღრმე d, სმ.
10	3 · 10 <sup>1</sup>	10'	0,104	18,8	1,9 · 10 <sup>8</sup>	3 · 10 <sup>2</sup>	5 · 10 <sup>2</sup>
10 <sup>1</sup>	3 · 10 <sup>2</sup>	8 · 10 <sup>2</sup>	0,112	25,0	4,0 · 10 <sup>7</sup>	0,91 · 10 <sup>2</sup>	1,54 · 10 <sup>2</sup>
10 <sup>2</sup>	3 · 10 <sup>3</sup>	1,3 · 10 <sup>3</sup>	0,125	17,4	2,3 · 10 <sup>6</sup>	0,276 · 10 <sup>2</sup>	0,46 · 10 <sup>2</sup>
10 <sup>3</sup>	3 · 10 <sup>4</sup>	6 · 10 <sup>4</sup>	0,131	3,94	2,4 · 10 <sup>5</sup>	7,7 · 10 <sup>1</sup>	15,8 · 10 <sup>1</sup>
10 <sup>4</sup>	3 · 10 <sup>5</sup>	2 · 10 <sup>5</sup>	0,192	1,72	4,0 · 10 <sup>4</sup>	1,73 · 10 <sup>1</sup>	4,75 · 10 <sup>1</sup>
10 <sup>5</sup>	3 · 10 <sup>6</sup>	2 · 10 <sup>6</sup>	0,40	3,6	7,5 · 10 <sup>3</sup>	436	91,3
10 <sup>6</sup>	3 · 10 <sup>7</sup>	160	0,625	7,0	1,13 · 10 <sup>2</sup>	118	21,6
2,7 · 10 <sup>7</sup>	1106	113	0,612	3,6	4,2 · 10 <sup>1</sup>	68,1	14,3
4 · 10 <sup>7</sup>	750	97	0,690	3,15	3,2 · 10 <sup>1</sup>	51,3	11,2
10 <sup>8</sup>	300	71,7	0,890	2,23	1,75 · 10 <sup>1</sup>	27	6,7
2 · 10 <sup>8</sup>	150	56,5	1,28	2,04	1,3 · 10 <sup>1</sup>	16,6	4,79
3 · 10 <sup>8</sup>	100	54	1,37	1,52	98	11,9	3,9
4,33 · 10 <sup>8</sup>	69,3	53	1,43	1,08	78	8,76	3,57
7,5 · 10 <sup>8</sup>	40	52	1,54	0,71	64	5,34	3,18
9,15 · 10 <sup>8</sup>	32,8	51	1,60	0,61	60	4,46	3,04
1,5 · 10 <sup>9</sup>	20	49	1,77	0,43	54	2,81	2,42
2,45 · 10 <sup>9</sup>	12,2	47	2,21	0,345	50	1,76	1,70
3 · 10 <sup>9</sup>	10	46	2,26	0,295	48	1,45	1,61
5 · 10 <sup>9</sup>	6	44	3,92	0,32	46	0,89	0,788
5,8 · 10 <sup>9</sup>	5,17	43,3	4,73	0,34	46	0,775	0,720
8 · 10 <sup>9</sup>	3,75	40	7,65	0,43	44	0,578	0,413
10 <sup>10</sup>	3	39,9	10,3	0,46	44	0,464	0,343
2,377 · 10 <sup>10</sup>	1,26	25,0	32,8	0,99	35	0,23	0,089
9 · 10 <sup>10</sup>	0,33	15,0	50	0,67	18	0,082	0,043

ცხრილი 2

ბიოლოგიური ქსოვილების ენერგეტიკული თვისებები და ემტ-ის პარამეტრები წყლის დაბალი შემცველობის ქსოვილებში

სიხშირე v, ჰც	ტალ. სიგრძე ქსოვილში $\lambda_0$ , სმ.	ფარდობითი დიფ- ფერენციალური შელწვევადობა, ε	ტამბარებლობა $\sigma$ , 10 <sup>-3</sup> 1/ომი	კარტეის ტანგენსი tg $\delta$	ტარეშეველის ეკვანთების კოეფიციენტი $K_{ექვ}$	ტალ. სიგრძე ქსოვილში $\lambda$ , კს. სმ	შელწვევის სიღრმე d, სმ
2,7 · 10 <sup>7</sup>	1106	20	10,9 – 43,2	0,90	27	241	159
4 · 10 <sup>7</sup>	738	14,6	12,6 – 52,8	0,84	19	187	118
10 <sup>8</sup>	300	7,45	19,1 – 75,9	0,90	10	106	60,4
2 · 10 <sup>8</sup>	150	5,95	25,8 – 94,2	0,91	8	59,7	39,2
3 · 10 <sup>8</sup>	100	5,7	31,6 – 107	0,72	7	41	32,1
4,33 · 10 <sup>8</sup>	69,3	5,6	37,9 – 118	0,58	6,4	28,8	26,2
7,5 · 10 <sup>8</sup>	40	5,6	49,8 – 138	0,40	6,0	16,8	23,0
9,15 · 10 <sup>8</sup>	32,8	5,6	55,6 – 147	0,35	6,0	13,7	17,7
1,5 · 10 <sup>9</sup>	20	5,6	70,8 – 171	0,26	5,8	8,41	13,9
2,45 · 10 <sup>9</sup>	12,2	5,5	96,4 – 213	0,21	5,7	5,21	11,2
3,0 · 10 <sup>9</sup>	10	5,5	110 – 234	0,19	5,6	4,25	9,74
5,0 · 10 <sup>9</sup>	6	5,5	162 – 309	0,155	5,6	2,63	6,67
5,8 · 10 <sup>9</sup>	5,17	5,05	186 – 338	0,16	5,1	2,29	5,24
8 · 10 <sup>9</sup>	3,75	4,7	255 – 431	0,165	4,8	1,73	4,61
10 <sup>10</sup>	3	4,5	324 – 549	0,175	4,6	1,41	3,39

ცხრილში მოცემული მონაცემებიდან ჩანს, რომ ემტ-ის სიხშირის ზრდისას ტალღების შეღწევის სიღრმე მცირდება. ამასთან ცხიმოვან ქსოვილებში იგი ერთი რიგით მეტია, ვიდრე ქსოვილებში, რომლებშიც წყლის შემცველობა მაღალია. 1, 2 ცხირლების მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ ტალღის სიგრძეთა მილიმეტრულ დიაპაზონში 3·10<sup>10</sup>-3·10<sup>11</sup> ჰც. ემტ-ის შეღწევის სიღრმე შეადგენს 0,343-0,043სმ-ს წყლის მაღალი შემცველობის ქსოვილებში, ხოლო მცირე რაოდენობის წყლის შემცველ ქსოვილებში იგი

შეადგენს 3,39სმ. ისმის კითხვა: რა არის შუამავალი გარემოს პირობების ცვლილებასა და ორგანიზმის შიდა გარემოს შორის? ასეთ შუამავლებად გვევლინებიან სპეციალიზირებული უჯრედები, ე.წ. რეცეპტორული უჯრედები. დადგენილია, რომ კანი ხასიათდება მრავალფეროვანი აქტივობით, რის გამოც იგი არანაკლებ საჭირო ორგანოა, ვიდრე ნებისმიერი სხვა ორგანოები. კანის შვიდ შრეში, როგორც მრავალიარუსიან ნაგებობაში განლაგებულია კოლოსალური რაოდენობის სხვადასხვა ელემენტები: უჯრედები, ბოჭკოები, გლუვი კუნთები, პიგმენტები, საოფლე და ქონის ჯირკვლები, რეცეპტორები, აგრეთვე სისხლძარღვოვანი და ლიმფატური სადინარების ქსელები და სხვა [2].

ადამიანებსა და ცხოველებზე ემგ-ის ზემოქმედების მრავალრიცხოვანმა ცდებმა გვიჩვენა, რომ არსებობენ გამოყოფილი სიხშირეები, რომლებიც იწვევენ ორგანიზმში მკვეთრ ცვლილებებს [3]. ასეთ სიხშირეებს ბიოეფექტურ სიხშირეებს უწოდებენ. ორგანიზმის მხრიდან მათზე გამოძახილი შეიძლება იყოს სხვადასხვაგვარი, როგორც დადებითი (ორგანიზმის გადასვლა უფრო ოპტიმალურ მდგომარეობაში), ასევე უარყოფითი. არსებობენ განსაზღვრული „სშირად სიხშირეების დამთხვევა შეიძლება იყოს მზის სისტემაში შემჩნეული საყოველთაო სინქრონიზაციის კერძო შემთხვევები. ეს მჟღავნდება მრავალ ბიოსფერულ და კოსმოსური რითმების ერთიანობაში [4]. ბიოლოგიასა და მედიცინაში ამ მოვლენას შემგუებლობას ან ადაპტაციას უწოდებენ. ამრიგად, ჩვენ გამოვდივართ იმ მოსაზრებიდან, რომ ბიოეფექტური სიხშირეები არ არის შემთხვევითი მოვლენა, არამედ ისინი არიან რეზონანსული ორგანიზმის ავტორხევეთი სისტემების საკუთარი სიხშირეების მიმართ.

მცირე ინტენსივობის ემგ-თვის ადამიანის ორგანიზმის მკვეთრი გამოხმაურება დაიშორება 40გჰც-ის მახლობლობაში, რაც ემთხვევა დნმ-ის სპირალის რეზონანსულ სიხშირეს [5]. ითვლება, რომ აქ ადგილი აქვს იძულებით რეზონანსს. ჩვენ შევეცდებით გამოვითვალოთ ეს რეზონანსული სიხშირე დნმ-ის მოლეკულისათვის.

განვიხილოთ რადიოტექნიკაში კარგად ცნობილი ტალღათსატარი, რომელიც წარმოადგენს ღრუ გრძელ გამტარს. ზოგჯერ სიღრუე შევსებულია  $\epsilon$  დიელექტრიკული შეღწევადობის მქონე დიელექტრიკით. სიმარტივისათვის განვიხილოთ R-რადიუსის  $\epsilon$  დიელექტრიკით შევსებული ღრუ ცილინდრული ფორმის მილი. თუ ასეთი მილის ერთ ბოლოზე დაეცემა  $\lambda_0$  ტალღის სიგრძის მქონე ელექტრომაგნიტური ტალღა, მაშინ, თუ  $\lambda_0$  ნაკლებია გარკვეულ  $\lambda$  კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ტალღათსატარი ასეთ ტალღებს გაატარებს ცილინდრის გასწვრივ დიდი სიჩქარით და მცირე დანაკარგებით.

კრიტიკული ტალღის სიგრძე ცილინდრული მილის ტალღათსატარისათვის მოიცემა ფორმულით [6]:

$$\lambda_{კრ} = a \cdot D \quad (5)$$

სადაც  $a$  დამოკიდებულია ტალღათსატარის ფორმაზე ცილინდრული მილებისთვის იგი 1.71-ის ტოლია,  $D$  კი ამ მილის დიამეტრია. როგორც ცნობილია, დიელექტრიკში ემტ-ის სიჩქარე მცირდება და იგი ტოლია  $V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$  აქ  $c$ -სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში.

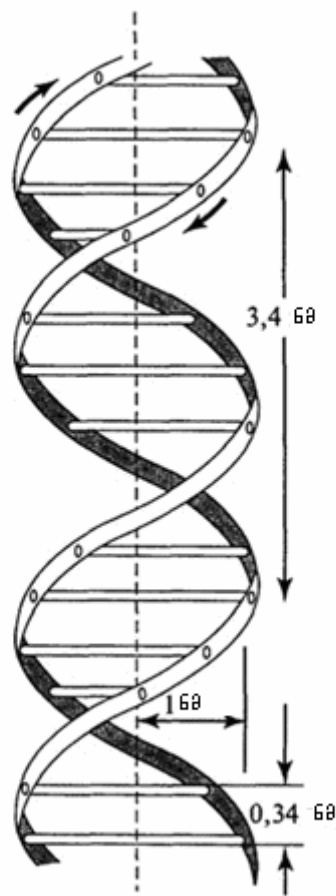
ვაკუმიდან დიელექტრიკში გადასვლისას ემტ-ის სიხშირე  $\nu$  არ იცვლება, მაგრამ იცვლება ტალღის სიგრძე

$$\lambda_{\varepsilon} = \frac{V}{\nu} = \frac{c}{\nu\sqrt{\varepsilon}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (6)$$

აქ  $\lambda_0$  ტალღის სიგრძეა ვაკუუმში, ხოლო  $\lambda_{\varepsilon}$  – მოცემულ გარემოში. თუ ტალღათსატარი შევსებულია დიელექტრიკით, მაშინ ის გაატარებს ტალღებს, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას:

$$\lambda_{\varepsilon} < \lambda_{\text{კრიტ}}, \text{ სადაც } \lambda_{\text{კრიტ}} = 1.71 D\sqrt{\varepsilon} \quad (7)$$

გამოვიყენოთ აღნიშნული პირობები, მაგალითად, დნმ-ის მოლეკულისათვის. როგორც ცნობილია, დნმ-ის ორმაგი სპირალის რადიუსი  $R=10^{-9}$ მ, ხოლო ერთი სრული ბიჯი დნმ-ის სპირალის გასწვრივ  $\ell = 3,4 \cdot 10^{-9}$  მ. და მოიცავს 10 ნუკლეინის მჟავას. იხ. ნახ. 1



ნახ. 1  
დნმ-ის ორმაგი სპირალი

კრიტიკული ტალღის სიგრძე  $\lambda_{\text{კრიტ}}$  დნმ-თვის თუ მას განვიხილავთ როგორც  $R=10^{-9}$ , რადიუსის ცარიელ ღრუ ტალღასატარს ტოლი იქნება  $\lambda_{\text{კრიტ}}=3,42 \cdot 10^{-9}$  მ.  $\lambda_{\text{კრიტ}} \approx \ell$ , ე. ი. სპირალის ერთი ბიჯია. ეს დამთხვევა გვიჩვენებს, რომ დნმ-ში ტალღების გავრცელებას რეზონანსული ხასიათი აქვს.

როგორც ცნობილია, ელექტრული ველის ცვლილების სიხშირის ზრდისას ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა  $\varepsilon$  მცირდება, ამის გამო სინათლის

შემთხვევაში  $\varepsilon$ -ის ნაცვლად იყენებენ სინათლის გარდატეხის მაჩვენებელს  $n = \sqrt{\varepsilon}$ , ალმასისთვის  $n_{ალ}=2,42$ , ხოლო წყლისთვის  $n_{წყ}=1,33$ . ბიოლოგიური მაკრომოლეკულებისათვის  $n_{წყ} \leq n_{ბიო} \leq n_{ალ}$  ჩვენ ჩავთვლით, რომ  $n_{ბიო} = 2$ . გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი, რომელშიც ისინია ჩადირული, შეგვიძლია მიახლოებით მივიღოთ წყლის გარდატეხის მაჩვენებლად  $n_{ელ} \sim 1,33$ . როგორც ვხედავთ სრულდება სრული შინაგანი არეკვლის პირობა  $n_{ბიო} > n_{ელ}$ . ე.ი. მაკრომოლეკულების კონას რომლებიც ჩადირულია ასეთ ელექტროლიტურ გარემოში გააჩნიათ სრული შინაგანი არეკვლის თვისება და მან შეიძლება შეასრულოს ოპტიკურბოჭკოვანი ტალღათსატარის როლი. [7]-ის მიხედვით ბიოლოგიური მაკრომოლეკულების კონა დიამეტრით  $D \geq 2 \cdot 10^{-7} \text{მ}$ , რომელიც ჩადირულია ელექტროლიტურ გამტარ გარემოში წარმოადგენს სინათლის ტალღათსატარს და ამავე დროს, იგი არის ოპტიკური მაკრომოლეკულური ბოჭკო. ასეთი ოპტიკური ბიოლოგიური მაკრომოლეკულური ბოჭკო შეიძლება შეიქმნას ხელოვნური გზით და ისინი გამოვიყენოთ მედიცინაში, მაგალითად ოფთალმოლოგიაში.

დაგროვილი ექსპერიმენტული მასალის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ საფუძვლიანად მივიჩნიოთ, რომ ელექტრომაგნიტური ველები ინფრადაბალიდან ულტრამალ სიხშირეებამდე გავლენას ახდენს ბიოლოგიურ პროცესებზე და შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ ემგ-ები არსებით როლს ასრულებენ ორგანიზმების ევოლუციასა და ცხოველმყოფელობაში.

ბუნებრივი ემგ-ების ინტენსივობები მცირეა ხოლო მათი შესაბამისი ქვანტების ენერგიები მნიშვნელოვნად ნაკლებია  $kT$ -ზე. ამიტომ ნაკლებალბათურია, რომ ემგ იყოს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის ენერგიის წყარო. სუფრო რეალურია აზრი იმის შესახებ, რომ ემგ-ები ასრულებენ ინფორმაციულ ფუნქციას ცოცხალ ბუნებაში. ინფორმაციული სიგნალები შესაბამისი კოდირების შემთხვევაში საჭიროებენ ემგ-ის ენერგიის საკმაოდ მცირე რაოდენობას. ეს გარემოება კი განაპირობებს საინფორმაციო არხების ნაკლებად დაცულობას ანთროპოგენური ბუნების - ფონური შემფოთებისაგან.

[8]-ში მოცემული ექსპერიმენტული მონაცემების თანახმად ინფრადაბალი სიხშირის მაგნიტური ველი განსაზღვრული პარამეტრებისა და ექსპოზიციის ხანგრძლივობის მიხედვით შეიძლება ჩაითვალოს ბიოეფექტურ ეკოლოგიურ ფაქტორად.

დაბალსიხშირული ტექნოგენური ემგ-ის არასასურველი ზემოქმედებისაგან დასაცავად არსებობს დაცვის ტექნიკური საშუალებები და ჰიგიენური ნორმები. ეს უკანასკნელი განსაზღვრავს დასხივების ზღვრულ დასაშვებ დონეებს, რომლის გადაჭარბებაც ადამიანისათვის წარმოადგენს საფრთხეს. ემგ-ის ნორმირების თანამედროვე ეტაპის დასაწყისად მიჩნეულია 1982წ., როდესაც აშშ-ში მიღებულ იქნა ახალი სტანდარტები [9]. ეს სტანდარტები დაფუძნებულია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების, ადამიანზე სითბური ზემოქმედების კონცეფციაზე და ახდენს ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის რეგლამენტირებას, რომელიც იზომება ჰერტში. დღეისთვის მიღებულია, რომ უსაფრთხოა მუდმივ მაგნიტურ ველში ყოფნა არაუმეტეს ერთი საათის განმავლობაში. ითვლება, რომ ცვლადი ველები უფრო სახიფათოა - ზღვრული მაგნიტური ველის მნიშვნელოვნად მიღებულია 5მტლ, როდესაც სიხშირე შეადგენს 1-100ჰც. ელექტრული ველის ზღვრული მნიშვნელობის დონე სამრეწველო სიხშირისათვის (50ჰც):

$E > 25$  კვ/მ ასეთ ველში ყოფნა დაუშვებელია

$E = 20-25$  კვ/მ ყოფნა დასაშვებია არაუმეტეს 10 წთ-ისა.

$E < 5$  კვ/მ დასაშვებია სამუშაო დღის განმავლობაში

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ემვ-ის ინტენსივობა ძალიან სწრაფად კლებულობს ემვ-ის წყაროდან დაშორებისას. მაგალითად, მაგნიტური ველის დამაბულობის დონე 2.4 ა/მ, რომელიც დაფიქსირებულია წყაროდან 0.3 მ-ზე მცირდება 0.08 ა/მ-მდე უკვე 1 მ-ით დაშორებისას, რაც თანამედროვე ნორმატივებით უსაფრთხოა (უფრო დეტალურად <http://pribory-mogic.narod.ru>)

#### ლიტერატურა:

1. Птицина Н. Г. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы потенциально опасные для здоровья (обзор). Успех физ. Наук. 1998. т. 168., №7. с. 768-791.
2. Черепнев И. А. Биологические эффекты при воздействия электромагнитных волн. Системы управления навигации 2007. выпуск 3. с.118-124.
3. Хаборова О. В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов. Биомедицинские технологии и радиоэлектроники. 2002, №5, с. 56-66.
4. Владиимрский Б. М. и др. Космос и биологические ритмы. Симферополь. 1995.
5. Weisburg S. DNA Helix found to oscillate in resonance with microwaves. Science News 1984. v. 125, N16, p. 248.
6. Р. Фейман, Р. Леймон, Р. Сендс – Феймановские лекции по физике – Электродинамика, 1961г. 231с.
7. ნ. გოცირიძე, ნ. შ. კურდღელაიძე – ბიოლოგიური მაკრომოლეკულების ოპტიკური ბოჭკოები. თსსუ-ის სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XLI 2005/2006 გვ. 20-21.
8. Г. В. Федорович – Электромагнитное поле как экологический фактор. Дисс. ЛГУ. С. – Петербург. 1994.
9. Гигиенические критерии состояния окружающей среды (периодическое издание) Магнитные поля ВОЗ Женева. 1992г.

Article received: 2010-08-04