

BIOKÉMIA

A Magyar Biokémiai Egyesület tájékoztatója
Quarterly Bulletin of the Hungarian Biochemical Society

Szerkesztőbizottság:

ALKONYI ISTVÁN, BÁNFALVI GÁSPÁR, FALUS ANDRÁS, FÉSÜS LÁSZLÓ,
GERGELY PÁL, HUDECZ FERENC, NYESTE LÁSZLÓ, SARKADI BALÁZS

Felelős szerkesztő:

SZÉKÁCS ANDRÁS

XXIX. ÉVF. 3. SZÁM

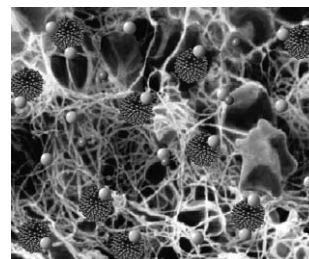
2005. SZEPTEMBER

A tartalomból:

- ◇ Foszfolipid–fehérje kölcsönhatások az artériás trombusok fibrinolitikus rezisztenciájának hátterében – *Várad Balázs és Kolev Kraszimir*
- ◇ Információtároló biomágnesek az élő sejtekben – *Bókkon István*
- ◇ Mesterséges metalloenzimek tervezése, előállítása és vizsgálata – *Gyurcsik Béla*
- ◇ A gyógyszerbiokémia jelene és jövője – *Arányi Péter*
- ◇ Fial Biotechnológusok Nívódíja – *Nyeste László*
- ◇ Sigma-díj fiatal kutatóknak – *Székács András*

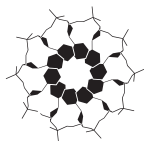
Címlapkép:

Foszfolipidek és a fibrinolitikus rendszer kölcsönhatásai. A foszfolipid-részecskék (vörös gömbök) a trombusban egyenletesen oszlanak el, és méretüknél fogva képesek betölteni a fibrinháló (szürke rostok) pórusait, ezáltal akadályozzák a trombolízisben szerepet játszó plazminogén (arany gömb), plazmin (világoskék gömb), illetve tPA (narancssárga gömb) mozgását a trombus belsejében. A fibrinsálakhoz kötődve a tPA hatékonyan aktiválja a plazminogént, de a negatív töltéssel rendelkező foszfolipid-részecskék alternatív kötőhelyet kínálnak mind a tPA, mind a plazmin számára, így további gátat jelentenek a trombus feloldásában. (ld. a vonatkozó közleményt a 26–31. oldalakon).



Contents:

- ◇ Contribution of protein–phospholipid interactions to the fibrinolytic resistance of arterial thrombi – *Balázs Várad and Kraszimir Kolev*
- ◇ Information storage by biomagnetites in living cells – *István Bókkon*
- ◇ Design, preparation and investigation of artificial metalloenzymes – *Béla Gyurcsik*
- ◇ Present and future in pharmaceutical biochemistry – *Péter Arányi*
- ◇ Award for Young Biotechnologists – *László Nyeste*
- ◇ Sigma Award for young scientists – *András Székács*



MAGYAR
BIOKÉMIAI
EGYESÜLET

Kiadja a Magyar Biokémiai Egyesület, 1518 Budapest, Pf. 7

e-mail: biokemia@nki.hu <http://www.webio.hu/biokemia>

Felelős kiadó: Dr. Friedrich Péter

Az engedély száma: III/SZI/397/1977 HU ISSN 0133-8455

Készíti és terjeszti a **dART studio** (1137 Budapest, Újpesti rakpart 6. Tel.: 349-3426)

Ára • a Magyar Biokémiai Egyesület tagjai részére: tagdíj ellenében,
• nem egyesületi tagoknak: 680 Ft + postaköltség

WEB10
BioScience Portal

Információtároló biomágnesek az élő sejtekben

Information storage by biomagnetites in living cells

Bókkon István

Semmelweis Egyetem, Kooperációs Kutatási
Központ, 1367 Budapest 5, Pf. 131,
E-mail: bokkoni@yahoo.com

Összefoglalás

A sejtekben képződő különféle kristályok kialakulása általános jelenség. Egyes kristálytípusok mint a vese- vagy az epekő stb. betegséget okoznak, mások funkcionális szerepet töltenek be a sejtek életében. A nanovilág – ahova az élő sejtek is tartoznak – felfedezett szokatlan tulajdonságai mutatnak rá arra, hogy a sejtekben a szerves és a szervetlen szabályozó folyamatok összekapcsolódhatnak. Az élő sejtek inkább „kvantummechanikai készülékek”, mintsem egyszerű elektromos rendszerek. A cikk rámutat arra, hogy az élő sejtben minden feltétel adott ahhoz, hogy a szerves molekulák és a szervetlen biokristályok között operációs kapcsolat álljon fenn, és a biomágnesek mint információtárolók működjenek a kvantumfizikai Aharonov-Bohm-effektus révén.

Bókkon, I.

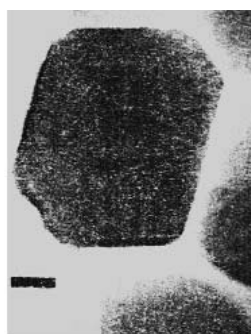
Semmelweis University, Cooperative Research
Center, H-1367 Budapest 5, POB. 131, Hungary
E-mail: bokkoni@yahoo.com

Summary

The formation of various biocrystals appears to be a universal phenomenon. Biocrystals may play a possible role not only in the pathological events of cells, but also in their functional operation. Unusual features of the nanoscale world indicate that cells are able to connect organic and inorganic regulational processes. Living cells can be considered quantum “devices” rather than simple electronic devices. This paper points out that every condition is given to propose that an operational connection exists between the organic and the inorganic materials in the living cells. In addition, it suggests a mechanism on the basis of the Aharonov-Bohm effect of biomagnetites as they can take part in the fixation of magnetic information processes in the cells.

Bevezetés

Mikor az élő szervezetben keletkezett kristályokról hallunk – melyeket hibás biokémiai folyamatok vagy mikrobák okoznak – különféle betegségek képe rémlik fel előttünk [1,2], pedig számos (bio)kristálynak funkcionális szerepe van. Egyes kutatásoknál a baktériumokban képződő tökéletes szerkezetű bionanomágneseket (biokristályokat) információtároló egységekként akarják felhasználni a számítógépekben [3]. Ha ezek a biomágnesek komputerekben képesek működni, miért hinnénk azt, hogy az élő sejtekben haszontalan képződmények. Joseph Kirschvink [4–7], aki több évtizede kutatja a biomágneseket az élő rendszerekben, a baktériumoktól, halaktól, madaraktól kezdve az emberi agyig számos organizmusban mutatta ki és izolálta a biomágneseket (1. ábra). Kirschvink rámutatott arra, hogy biomágnesek fontos szerepet kapnak abban, ahogy az élőlények a földi mágneses teret érzékelik [4,5].



*Aquaspirillum
magnetotacticum*



Homo sapiens

1. ábra Szinte tökéletesen egyforma nanobiomágnesek egy baktériumból és az emberi agyból [7].

Számításai szerint az emberi agy minden grammja 5 millió vas-oxid-kristályt (Fe_3O_4) tartalmaz, 10–100 nanométer közötti átmérővel [6,7]. Amint az már sok évvel ezelőtt fölmerült, a biomágnesek a bakteriális magnetoszóma polaritásának öröklődésében is részt vehetnek [8,9]. Ez volt az első olyan lehetőség –

„*Heredity without genes*” –, ahol az öröklődő információ rögzítése nem DNS-szinten történt, hanem a biomágnesekben, az utódsejtekben mégis DNS-szinten is manifesztálódott a mágneses információ. Bárhogy is legyen, felmerül a kérdés, miért van minden emberi agyban több milliárd, tökéletes szerkezetű biomágneses nanokristály [10].

Magnetobiológiai problémák

Az élő sejtek életében betöltött mágnesség szerepéről keveset tudunk. A magnetobiológia paradoxonja, hogy a gyenge – például a Föld mágneses tere – vagy az ultragyenge elektromágneses sugárzások befolyásolják az élő sejt folyamatait. Látszólag ellentmond ennek az a tény, hogy a hőmérséklet-fluktuáció random jellegű, és az általa képviselt termikus energia (kT) tíz nagyságrenddel nagyobb, mint a váltóáramú mágneses mező energiakvantumjai [11]. Vajon ez a folyamatos és a mágneses erőterhez képest jelentős tényező miért nem rombolja le a magnetobiológiai hatásokat? Miért nem rombolják le a mesterséges, erős elektromágneses hatások az élő sejtek folyamatait, miközben a sejtek érzékelik mind a gyenge, mind az erős elektromágneses tereket? Számos modell alakult ki arról, hogy hogyan hat a gyenge mágneses sugárzás a sejtek biokémiai folyamataira. Néhány ezek közül: biomágnesek segítségével, Eddy-féle elektromos árammal, klasszikus és kvantumoszillációkkal, ciklotronrezonancia útján, interferenciával a kötött ionok és elektronok kvantumállapotain, koherens kvantumgerjesztéssel, magnetoszenzitív szabadgyökökkel stb. [12]. E modellek sajnos nem tudták megoldani az alapproblémákat, aminek az lehet az oka, hogy a sejtekben az információ különböző formákat ölthet – elektromos, mágneses, elektromágneses, mechanikai –, melyek egymásba kölcsönösen átalakulhatnak, így a kérdésre csak a modellek együttese szolgáltathat majd megoldást.

Kirschvink szerint a biomágnesek ionkapukat nyitnak-zárnak, miközben érzékelik a Föld mágneses

terét [5]. Ez a modell is ellentmondásos, mert a Föld mágneses tere nem elég erős ahhoz, hogy a biomágneseken megfelelő mágneses forgatónyomatékok hozzon létre.

Kérdés az is, hol és hogyan rögzítődik a mágneses információ. Egy baktérium esetében még egyszerű lehet a válasz, hisz nincs szükség mágneses térképre, a biomágnesek csak mágneses navigációs folyamatokat irányítanak (magnetotaxis). De hogyan talál vissza egy költöző madár az agyában lévő biomágnesek segítségével több ezer kilométer távolságból, egy adott város, adott házának ereszéhez. Valamint, a baktériumokban található biomágnesekhez teljesen hasonló szerkezetű, az emberi agyban található sok milliárd biomágnesnek mi a funkciója és miképp működik.

A kísérletek szerint az emberi agy a Föld mágneses terénél százmilliószor gyengébb (femtoTesla nagyságrendű) mágneses jeleket használ működésénél [13], ugyanakkor NMR-vizsgálatok szerint képes kompenzálni a Föld mágneses térerősségénél, nagyságrendekkel erősebb, 5–14 Tesla erősségű mágneses tereket. Ez utóbbi tény önmagában kérdésessé teszi az ionkapumodellt, hiszen az NMR-vizsgálatok alatt ilyen nagy mágneses térerőnél az agyban lévő összes biomágnes egy irányba állna, és bekövetkezne az agy kollapszusa.

A modern kutatások rávilágítanak arra, hogy az élő sejtek képesek mindarra, amire napjaink nanotechnológiája. Az élő sejtek képesek elektromos, mágneses, elektromágneses és akusztikus jeleket létrehozni, felhasználni és kölcsönösen egymásba alakítani működésük során. Ezek figyelembevételével közelebb juthatunk a mágnességnek élő folyamatokban betöltött, ma még rejtélyes szerepéhez.

Nanotechnológia az élő sejtekben?

A DNS, RNS és fehérjék a paramágneses tulajdonság mellett félvezető és piezoelektromos tulajdonságokat is mutatnak [14–17]. A piezoelektromosság lehe-



Bókkon István 1989-ben végzett mint vegyészmérnök és 1991-ben mint okleveles biológus mérnök a Budapesti Műszaki Egyetemen. Környezetvédőként, magántanárként és az Országos Közegészségügyi Központ kutatójaként dolgozott. Jelenleg a Semmelweis Egyetem Kooperációs Kutató Központ PhD-ösztöndíjasaként nikkeltáristályokat kutat a sejtek osztódási központjában. Interdiszciplináris elméleti kutatómunkájában távol álló tudományterületeket köt össze. Vallja, hogy nem az a baj, ha tíz gondolatból kilenc új tévedés, hanem az, ha egy sem új közülük. Annyi bizonyos, bármerre kutat, mindig biokristályokkal találkozik.

tővé teszi, hogy az elektromágneses rezgések mechanikai rezgésekké alakuljanak és fordítva, vagy a mechanikai rezgések elektromos rezgésekké és fordítva. A szerves félvezető molekulák kristályszerű struktúrájukkal és elektromos vezetésükkel diódák-ként működhetnek a sejtekben. Az elektromos mezők képesek a félvezető molekulák elektromos és elasztikus tulajdonságait megváltoztatni.

Az elektromosság az élő sejtek alaptulajdonsága, hiszen a legtöbb biomolekula ionos vagy nagy dipólusmomentumú közegbe ágyazott. Fizikai törvény, hogy mikor egy elektromosan töltött részecske változó sebességgel mozog, elektromágneses teret hoz létre maga körül. Így adódik, hogy a sejtekben folyamatosan keletkezik ultragyenge, inkoherens elektromágneses sugárzás. A biokémiai reakciók koherens jellege, ultrarövid femtoszekundumos tartományban általános jelenség a sejteknél, mely alapja annak, hogy a sejtek koherens, lézerszerű ultragyenge elektromágneses sugárzást is képesek előállítani [18–24]. A sejtek által előállított koherens (lézerszerű) és inkoherens elektromágneses sugárzásokat hívjuk biofotonoknak. A sejtekben keletkező mágneses terek szabad gyököktől, paramágneses fehérjéktől, biomágnesektől és a szerves molekulák szerkezetében lévő fémionoktól származhatnak.

Akusztikus hullámok mint konformációs rezgések/változások a makromolekulákban is léteznek, s ezeket konformonoknak nevezik, a szilárd kristályokban fellépő fononok (a rezgési energiakvantumjai) rácsvibrációinak analógiájára [25]. A félvezető proteinekben keletkező felületi akusztikus hullámok képesek a biofotonok (optikai jelek) atomkötött módon történő tárolására, majd időben és térben távolabb újra optikai jelként elengedni a biofotont [26].

A sejtmembrán kettős lipidrégei kváziszigetelőként működnek, vezető és nem vezető részekkel, és nem lineáris áram-feszültség karakterisztikát mutatnak [27]. A citoplazma strukturált, folyadék-kristály-szerkezetű, amely félvezető proteinpolimerekből áll, rendezett víz-/ionoldatba ágyazva [28,29].

A felsoroltakból láthatjuk, hogy a sejtek képesek elektromos, mágneses, elektromágneses és akusztikus jeleket előállítani, felhasználni, és bármelyik típusú jelet a másik típusba konvertálni a működésük során. Cliento szerint [30] a biokémiai reakciók úgy játszódnak le, hogy az átmeneti molekulakomplexeiket a molekulákat környező biofoton-

fürdőből a specifikus biofotonok gerjesztik, majd a molekula a környezetnek megfelelő egyensúlyi állapotba tér vissza.

Néhány lehetséges válasz a magneto-biológia kérdéseire

A femtoszekundumos reakcióidő az, ami lehetővé teszi, hogy a hőmérsékleti fluktuáció hatása elkerülhető legyen, azaz a termodinamikai kontroll helyett a kinetikai kontroll érvényesüljön. Emellett a femtoszekundumos reakcióidő koherens jellege biztosítja a koherens lézerszerű ultragyenge biofotonok létrehozását is.

A fraktálrendszerek a legjobb, igazolt modelljei az élő és nem élő struktúráknak. A fraktálstruktúrák képesek ellenállni az erős erőknél, ugyanakkor gyenge erőket felhasználni [31–33]. Ez a tulajdonság választ adhat arra, hogy az élő sejtek gyenge erővel dolgoznak, gyenge külső erőket fel tudnak használni, ugyanakkor erős külső erőknél ellenállni.

Minden rugalmas rendszer, molekula, sejt, szerv stb. rendelkezik egy saját frekvenciával, melyen a legerősebb az energiafelvétel, az információközvetítés. A specifikus gyenge erők érzékelésében és a biológiai specificitásban ez döntő szerepet játszhat. A sejtet jellemző molekuláris tartományban a biokémiai és mechanikai (konformonok) szabályzások nem megkülönböztethetőek [34]. A citoszkeláris váz – melynek mentén a legfontosabb jelvezető enzimek, a kinázok és foszfatázok lokalizáltak – egy paramágneses, rugószerű hálózat, amely egy mechano-elektro-optikai konveterhálózatnak is tekinthető. A konverter sajátfrekvenciája folyamatosan változik, ami a konformációk folyamatos változásából adódik. A vázolt hálózat alkalmas a specifikus gyenge mágneses jelek felhasználására és fel erősítésére, amplifikációjára.

Biokristályok képződése a sejtekben

A biomágnesek tökéletes struktúrája és mágneses tulajdonsága arra utal, hogy felépülésük precíz biológiai kontroll útján alakul ki a sejtben [35,36]. A nanotechnológiai kísérlet szerint femtoszekundumos lézerpulzálás hatására a határfelületi elektronok a szerves anyagból az azt körülvevő szerves anyagba lépnek át, és ott mint polaronok 1000 femtoszekundum ideig képesek tartózkodni [37]. A kutatók állítják, hogy ez a jelenség lehet-

seges a biokémiai folyamatoknál is. Mivel a sejtekben lévő biomágnesek közvetlen kapcsolatban állnak az őket környező félvezető, piezoelektromos szerves proteinekkel és a kváziszigetelő lipidmolekulákkal, adódik a következtetés, hogy az elektronok segítségével operációs kapcsolat jöhet létre a szerves és szervetlen biomágnesek között.

A sejtekben nemcsak elektronok segítségével létesülhet operációs kapcsolat a szerves és szervetlen anyagok között, hanem elektromágneses úton is. Az élő sejtek által előállított koherens biofotonok a szintén nanotechnológiából ismert, úgynevezett holografikus litográfia (biokristályok képzése a sejtekben nem azonos síkbeli biofotonok interferenciája révén) útján is kialakulhatnak [38]. Az elektromágneses (biofoton) útján történő kristályformálás lehetőségét erősíti meg az is, hogy *in vitro* kísérletben a gyenge elektromágneses mezők közvetlenül befolyásolják a kristályképződés kinetikáját. [39].

A nanoméret-tartományban az anyagok szokatlan, nem lineáris elektromos, mágneses tulajdonságai tűnnek fel, melyet kvantumhatások, megváltozott termodinamika és módosult kémiai reakciók jellemeznek. Ugyanakkor ez az a tartomány, ahol a szerves és szervetlen anyagok közötti határok eltűnnek és operációs/információs kapcsolatok hozhatók létre.

Biomágnesek mint információtárolók és az Aharonov–Bohm-effektus

A kvantumfizikai Aharonov–Bohm-effektus lényege [40], hogy amikor egy statikus mágnesdarab mágneses terét teljesen leárnyékolják, akkor is megmarad egy hatás, amely megváltoztatja az elektronok hullámfázisát. Ezt a hatást mágneses vektorpotenciálnak nevezik, s alapvetőbb tulajdonság, mint a mágnesesség. Az effektus nemcsak azt teszi lehetővé, hogy a sejtek érzékeljék a gyenge geomágnesességet, hanem azt is, hogy a biomágnesek mágneses információtárolókként működjenek. A következőkben nézzük meg ezt a modellt, miképp működhet ez egy költöző madár esetében.

Mikor elérkezik a költöző madár vándorlásának ideje, a madár agysejtjeiben elkezdődik a biomágnesek sejt által irányított, lassú extrakcióval történő kialakulása, melynek irányításában a szerves molekulák fontos szerepet töltenek be. A hosszú repülés alatt a biomágnesek lassan kialakuló rétegeiben a

nem vezető elektronok hullámfázisai a Föld aktuális mágneses terének (és vektorpotenciáljának) megfelelően rögzítődnek. A költöző madár visszautjakra a Föld aktuális mágneses terei (vektorpotenciáljai), Aharonov–Bohm-típusú elektromos ellenállás-oszcillációt [41] indukálnak a biomágnesek megfelelő rétegeiben rögzített nem vezető elektronokon. Ezután szintén a nanotechnológiából ismert lehetőség szerint [42] a biomágnesben oszcilláló fixált elektronok mint szórési oldalak működnek, és polarizálják a biomágnesben lévő mozgó elektronokat. Majd a mozgó, spinpolarizált elektronok koherensen transzportálódnak a biomágnes körüli félvezető paramágneses fehérjékbe. Ennek hatására megváltozik a biomágneset körülvevő fehérjék konformációs állapota. Ezt követően a citoszkeláris váz mentén megtörténik a jelamplifikáció konformonok és a biofotonok segítségével, majd a sejtek között, a sejteket összekötő hálózatban rezonanciatranszfer révén [43–45], mely végeredményképpen navigálja a madarat. Vagyis a jelamplifikáció elektromechanikai, elektrooptikai és elektrokémiai úton valósul meg.

A valóságban, kooperációs úton, számos biomágnes működik közre a vázolt modellben. A kísérletek szerint a nanoméretű, kétdimenziós tartományban a mágneses nanorészecskék között a magnetosztatikus kölcsönhatások (vonzás, taszítás) elhanyagolhatók [46], így a mágneses vektorpotenciál játszhatja a főszerepet a vázolt modellben. A kísérletek szerint az Aharonov–Bohm-típusú oszcillációval nagy mennyiségű információ tárolható a mágneses molekulaklaszterekben [47]. Valószínű, hogy az Aharonov–Bohm-effektus egyéb, a sejtekben történő mágneses folyamatoknál is fontos szerepet tölt be. Szeretném hangsúlyozni, hogy a vázolt modellben elegendő, ha csak egyetlen vándorlási út mágneses térképe rögzítődik a madár agyában lévő biomágnesekben. Nagyon valószínű, hogy a biomágnesek szerepet játszanak abban, hogy néha a bálnák kiúsznak a partra, ami nem öngyilkosság, hanem mágneses navigációs hiba.

Egyre több kutató vallja, hogy az élő sejtek inkább nanoméretű „kvantumkészülékek”, mintsem egyszerű elektromos rendszerek. 2003-ban Biró és munkatársai [48] arról számoltak be, hogy a pillangók szárnyai természetes kvantumfotonikus kristályokat tartalmaznak, melyeknek lényeges hatása van a lepke hőmérsékletének szabályozásában. Bár lehet, hogy az élő sejtek kutatóinak még

bonyolultabb folyamatokkal kell szembenéznük a nanovilág törvényszerűségeit figyelembe véve, ezzel együtt számos új lehetőség is felmerül a gyógyítás terén. Úgy tűnik, hogy a szervesetlen biokristályok még sok meglepetést rejtenek az élő sejtekben játszott szerepükkel kapcsolatban, ahogy a bio-piezokristályok holografikus információátvitellel kapcsolatos lehetősége kapcsán is [49,50].

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok Prof. Kéri Györgynek, aki elsőként nyújtott anyagi segítő kezét, bizalmat és lehetőséget, hogy a gyakorlatban is elkezdődjön annak bizonyítása, amiért sok évet ültem az íróasztal mögött.

Irodalomjegyzék

- [1] Bókkon, I. (2002) A nanobaktériumok világa. *Biokémia*, **26**: 35–42.
- [2] Anderson, H. C. (1988) Mechanism of pathologic calcification. *Rheum. Dis. Clin. North. Am.*, **2**: 303–319.
- [3] Field, M., Smith, C. J., Awschalom, D. D., Mendelson, N. H., Mayes, E. L., Davis, S. A., Mann, S. (1998) Ordering nanometer-scale magnets using bacterial thread templates. *Appl. Phys. Lett.*, **73**: 1739–1741.
- [4] Kirschvink, J. L. (1980) South-seeking magnetic bacteria. *J. Exp. Biol.*, **86**: 345–347.
- [5] Kirschvink, J. L., Jones, D. S., MacFadden, B. J. (Eds.) (1985) Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms: A new biomagnetism. (Plenum Press, New York)
- [6] Kirschvink, J. L., Kirschvink, A., Woodford, B. (1992) Magnetite biomineralization in the human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **89**: 7683–7687.
- [7] Kirschvink, J. L., Kobayashi-Kirschvink, A., Diaz-Ricci, J. C., Kirschvink, S. J. (1992) Magnetite in human tissues. *Bioelectromagnetics*, **1**: 101–113.
- [8] Nanney, D. L. (1985) Heredity without genes: ciliate explorations of clonal heredity. (Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam) pp. 295–298.
- [9] Hedges, R. W. (1985) Inheritance of magnetosome polarity in magnetotrophic bacteria. *J. Theor. Biol.*, **112**: 607–608.
- [10] Dunn, J. R., Fuller, M., Zoeger, J., Dobson, J., Heller, F., Hammann, J., Caine, E., Moskowit, B. M. (1995) Magnetic material in the human hippocampus. *Brain. Res. Bull.*, **36**: 149–153.
- [11] Adair, K. R. (1993) Effects of ELF magnetic fields on biological magnetite. *Bioelectromagnetics*, **14**: 1–4.
- [12] Binhi, V. N. (1999) An analytical survey of theoretical studies in the area of magnetoreception. In: *Electromagnetic Fields: Biological Effects and Hygienic Standardization*. (Repacholi. M. H., Rubtsova, N. B., Muc, A. M., Eds.) (World Health Organization, Geneva, Switzerland) pp. 155–170.
- [13] Hahneiser, O., Kohlsmann, S., Hetscher, M., Kramer, K. D. (1995) Development and application of a SQUID sensor array for the measurement of biomagnetic fields. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **37**: 51–53.
- [14] Fukada, E. (1995) Piezoelectricity of biopolymers. *Biorheology*, **32**: 593–609.
- [15] Shamos, M. H., Lavine, L. S. (1967) Piezoelectricity as a fundamental property of biological tissues. *Nature*, **213**: 267–269.
- [16] Fink, H. W., Schönenberger, C. (1999) Electrical conduction through DNA molecules. *Nature*, **398**: 407–410.
- [17] Szent-Györgyi, A. (1983) *Az anyag élő állapota*. Magvető Kiadó, Budapest.
- [18] Kobayashi, M., Takeda, M., Ito, K., Kato, H., Inaba, H. (1999) Two-dimensional photon counting imaging and spatiotemporal characterization of ultraweak photon emission from a rat's brain *in vivo*. *J. Neurosci. Methods*, **93**: 163–168.
- [19] Popp, F. A., Yan, Y. (2002) Delayed luminescence of biological systems in terms of coherent states. *Physics Letters A*, **293**: 93–97.
- [20] Kobayashi, M., Takeda, M., Sato, T., Yamazaki, Y., Kaneko, K., Ito, K., Kato, H., Inaba, H. (1999) *In vivo* imaging of spontaneous ultraweak photon emission from a rat's brain correlated with cerebral energy metabolism and oxidative stress. *Neurosci. Res.*, **34**: 103–113.
- [21] Kim, J. D., Lim, J., Sung, B., Soh, K. S. (2003) Biophoton emission from rat liver. *J. Korean Phys. Soc.*, **42**: 427–430.
- [22] Vos, M. H., Rappaport, F., Lambry, J. Ch., Breton, J., Martin, J. L. (1993) Visualization of coherent nuclear motion in a membrane protein by femtosecond spectroscopy. *Nature*, **363**: 320–325.
- [23] Popp, F. A., Ruth, B., Bahr, W., Böhm, J., Grass, P., Grolig, G., Rattemeyer, M., Schmidt, H. G., Wulle, P. (1981) Emission of visible and ultraviolet radiation by active biological systems. *Collective Phenomena*, **3**: 187–214.
- [24] Grundler, W., Kaiser, F., Keilmann, F., Walleczek, J. (1992) Mechanisms of electromagnetic interaction with cellular systems. *Naturwissenschaften*, **79**: 551–559.
- [25] Clark, I. J. (1996) The geometric curvature of microtubules may play a part in information processing. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **41**: 59–61.
- [26] John, S., Burstein, E., Weisbuch, C. (Eds.) (1995) Localization of light in disordered and periodic dielectrics, confined electrons and photons. (Plenum Press, New York)
- [27] Bordi, F., Cametti, C., Natali, F. (1996) Electrical conductivity and ion permeation in planar lipid membranes. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **41**: 197–200.
- [28] Ho, M. W., Haffeege, J., Newton, R., Zhou, Y., Bolton, J. S., Ross, S. (1996) Organisms as polyphasic crystals. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **41**: 81–91.
- [29] Booth, Ch., Raynes, P. (1997) Liquid-crystals displays. *Physics World*, **1977**: 33–37.
- [30] Cliento, G. (1988) Photobiochemistry without light. *Experientia*, **44**: 572–576.
- [31] Dewey, T. G. (1993) Fractal aspect of protein structure and dynamics. *Fractals*, **1**: 179–189.
- [32] Mandelbrot, B. (1982) *The fractal geometry of nature*. (Freeman, San Francisco)
- [33] West, B. J., Goldberger, A. L. (1987) Physiology in fractal dimensions. *Amer. Scientist*, **75**: 354–365.
- [34] Forgács, G. (2001) Fizikai folyamatok az intracelluláris jel- és energiaátvitelben. *Fizikai Szemle*, **7**: 204–209.
- [35] Mann, S., Frankel, R. B., Blakemore, R. P. (1984) Structure, morphology and crystal growth of bacterial magnetite. *Nature*, **310**: 405–407.
- [36] Kirschvink, J. L. (1989) Magnetite biomineralization and geomagnetic sensitivity in higher animals: An update and recommendation for future study. *Bioelectromagnetics*, **10**: 239–260.
- [37] Ge, N-H., Wong, C. M., Lingle, R. L., McNeill, J. D., Gaffney, K. J., Harris, C. B. (1998) Femtosecond dynamics of electron localization at interfaces. *Science*, **279**: 202–205.
- [38] Campbell, M., Sharp, D. N., Harrison, M. T., Denning, R. G., Turbfield, A. (2000) Fabrication of photonic crystals for the visible spectrum by holographic lithography. *Nature*, **404**: 53–56.
- [39] Berton, R., Beruto, D., Bianco, B., Chiabrera, A., Giordani, M. (1993) Effect of ELF electromagnetic exposure on precipitation of barium oxalate. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, **30**: 13–25.
- [40] Imry, Y., Webb, R. A. (1989) Quantum interference and the Aharonov-Bohm effect. *Sci. Amer.*, **260**: 36–42.
- [41] Manyala, N., Sidis, Y., DiTusa, J. F., Aeppli, G., Young, D. P., Fisk, Z. (2000) Magnetoresistance from quantum interference effects in ferromagnets. *Nature*, **406**: 581–584.
- [42] Tsukagoshi, K., Alphenaar, B. W., Ago, H. (2000) Coherent transport of electron spin in a ferromagnetically contacted carbon nanotube. *Nature*, **401**: 572–574.
- [43] Fröhlich, H., Kremer, F. (Eds.) (1983) *Coherent excitations in biological systems*. (Springer-Verlag, Berlin)
- [44] Fröhlich, H. (Ed.) (1988) *Biological coherence and response to external stimuli*. (Springer-Verlag, Berlin)
- [45] Fröhlich, H. (1968) Long-range coherence and energy storage in biological systems. *Int. J. Quant. Chem.*, **2**: 641–649.
- [46] Stamm, C., Marty, M., Vaterlaus, A., Weich, V., Egger, S., Maier, U., Ramsperger, U., Fuhrmann, H., Pescia, D. (1998) Two-dimensional magnetic particles. *Science*, **282**: 449–451.
- [47] Wernsdorfer, W., Sessoli, R. (1999) Quantum phase interference and parity effects in magnetic molecular clusters. *Science*, **284**: 133–135.
- [48] Biró, L. P., Bálint, Zs., Kertész, K., Vértessy, Z., Márk, G. I., Horváth, Z. E., Balázs, J., Méhn, D., Kiricsi, I., Lousse, V., Vigneron, J-P. (2003) Role of photonic-crystal-type structures in the thermal regulation of a *Lycaenid* butterfly sister species pair. *Phys. Rev. E*, **67**: 021907 1–7.
- [49] Bókkon, I. (2003) Creative information. *J. Biol. Systems*, **11**: 1–17.
- [50] Bókkon, I. (2000) Tudatos és tudatalatti információátvitellel az agyban. *Biokémia*, **24**: 79–83.