

# SUBATOMÁRIS BIOLÓGIA: ELEKTRONBIOLÓGIA, BIOFÉLVEZETÉS\*

ERNST JENŐ

Biofizikai Intézet, Pécs

I. I. Az élőlények tudományos megismerésének történeti folyamatában jelentős lépést tett a makro-, mikro- és submikro-*morfológia*, amikor leírta a növényi és állati egyed testrészeit, szerveit, a különböző szöveteket, sejteket, sejtrészeket, organellumokat, továbbá a rickettsiákat és vírusokat. Az élőlények *működésének* tudományos megismerésében döntő lökést adott a *fiziológiának* a *biokémia*, melynek egyik kiemelkedő teljesítménye volt a hormonok és vitaminok életfontosságú funkciójának és kémiai szerkezetének megállapítása. Mikor azonban ennek a *molekuláris biológiai* szemléletnek az életjelenségekben fellépő *működési mechanizmusokat* kellett volna megértenie, akkor elégtelennek bizonyult.

Új irányt jelentett HÖBER „Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe” c. munkája (45). Ezen az úton jutott el e cikk szerzője a húszas években az izomműködésnek akkori ortodox *molekuláris biológiai* szemléletével szemben *biofizikai szemlélettel* ahhoz a koncepcióhoz, hogy az izomkontrakció két bevezető jelenségét, az akciós áramot és a térfogatcsökkenést parallel módon ionizációs (vagyis elektron-) folyamattal (ERNST, 16, 25) értelmezze.

Ez a hipotézis azonban nem ment át a tudományos köztudatba, különösen az akkori „izomnagyhatalmak”, MEYERHOF és HILL ellenkezése volt jelentős.\*\* Pedig már a korábbi irodalomban is jelentek meg elektronszemléletű megfontolások. Így idézhető pl. BERNSTEIN (6) 1902-es közleményéből (S. 561): „Sie (sc. Molekulartheorie von Du Bois Reymond)\*\*\* vergleicht die Moleküle und Molekülfäden... (sc. in der Zelle)\*\*\* mit Metallteilchen und — fäden. ... Eine Fibrille (sc. des Muskels)\*\*\* verhält sich ... ganz ebenso, wie eine Metallfaden”. Ilyen további adat, hogy ZOTH (75) szerint Schornstein már

\* А Биофизика c. folyóirat szerkesztőbizottságának megtisztelő felkérésére írt közlemény magyarul.

\*\* MEYERHOF (55) HARTMANN (37) hibás számítása alapján molekuláris átalakulással értelmezte a térfogatcsökkenést; HILL (4) Versfeldt nyomásváltozásra vonatkozó alaptalan ötletét újította fel.

\*\*\* Jelen szerző betoldásai a szöveg eredeti értelmének megfelelően.

1907-ben „elektronenbedingte Ionisation”-ról írt a látási folyamattal kapcsolatban.

I. 2. De tisztán fizikai adatok is irányt mutattak tudományos munkásságomban, amelyet kerek ötven esztendeje kezdtem el, mikor előtérben állt az izomkontrakciónak tejsav-duzzadási felfogása. E kérdés tisztázásához felhasználtam KATZNAK (49) a duzzadásról az „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften”-be írt kitűnő értekezését, mellyel azonos kötetben jelent meg GUDDEN (33), „Elektrizitätsleitung in kristallisierten Stoffen unter Ausschuss der Metalle” c. cikke; ebben az *anorganikus félvezetők ionos, ill. elektronos vezetéséről* volt szó. Később ugyanazon szerzőnek ugyanabban az évkönyvsoroztatban „Elektrische Leitfähigkeiten elektronischer Halbleiter” c. munkájában (34)\* pl. már az áll, hogy a *félvezető*  $\text{Ag}_2\text{S}$ -ot előbb ionvezetőnek, 2 évvel később viszont már általánosan *elektronvezetőnek* tartották.

Másrésztől az *anorganikus félvezetőkkel kaucsolatban* olyan jelenségeket állapítottak meg, amelyekhez hasonló folyamatokat már korábban leírtak biológiai rendszerekben. *a) Egyenirányítás.* Számos, részben még a múlt században közölt adat és saját kísérletei alapján HOFFMANN (44) megállapította, hogy a szembetalálkozó ingerek kioltják egymást; ez szerinte azt bizonyítja (S. 34): „dass die refraktäre Phase die Ausbreitung der Erregung tatsächlich in der einen Richtung hindert”. További egyidejű (DITTLER, 11) és későbbi cikkek (WISHART, 74; FISCHER, 31; DITTLER, 12) megerősítették ezt a kísérletes eredményt. *b) Hőáram (hőelektromos hatás).* Ugyancsak a múlt századba nyúlnak vissza BERNSTEIN (7) és VERZÁR (69) közleményei századunk elejéről, melyek szerint ha izomrost vagy ideg két helyén hőmérsékletkülönbség áll fenn, akkor a két hely között elektromos potenciáldifferencia lép fel, de csak élő szöveten. *c) Az elektromos vezetőképesség növekszik a hőmérséklettel* ( $T_1 < T_2$ ,  $R_2 < R_1$ ). Ehhez hasonló a biológiai tankönyvi adat, hogy ti. a biológiai szövetek elektromos vezetőképessége nő a hőmérséklettel. *d) Fényáram (fotoelektromosság.)* Szintén korábbi adatok támasztják alá pl. AZUMA (2) és LIPPAY (53, 54) kísérleti eredményeit, melyek szerint a biológiai szöveteken hasonlóképpen fotodinamiás hatást lehet kiváltani.

I. 3. E röviden említett néhány példa, amelyek működési analógiát jeleztek félvezetők és biológiai rendszerek között, alapot nyújtottak bizonyos *elektrobiológiai* szemléletre. Ugyancsak e szemlélet irányába mutattak az akciós áramról, ill. általában a biológiai elektromos impulzusról szóló megállapítások, amelyek egyik jelentős adata szerint a biológiai szövet nem követi szükségszerűen az ingerfrekvenciát (pl. FENG, 29, 30; SCHÄFER, GÖPFERT, 60). Ezt a tulajdonságot jelölte a fiziológia *saját frekvencia*, vagy természetes frekvencia néven, emlékeztetve a fizikában ismeretes hasonló nevű jelenségre az elektro-

\* Lásd Хоффе, (46).

mágneses rezgések tanában. Az persze elemi fizikai tananyaghoz tartozott, hogy e rezgésekben elektronfolyamatok szerepelnek. Az akciósárammal párhuzamosan a térfogatcsökkenésről is leírtuk 1938-ban, hogy saját frekvenciát mutat (ERNST, KOCZKÁS, 26);\* ezt hamarosan megerősítették más laboratóriumban, más módszerrel végzett kísérleti eredmények (DITTLER, HANNAPEL, 13). Mindezek alapján tehát megalapozottnak látszott az izom ingerületi folyamatát *elektronfolyamatként* felfogni.

I. 4. Ebben az időben megjelentek közlemények, amelyek közös utat mutattak egyrészt az elektronbiológiai szemlélet számára, másrészt az anorganikus félvezetők és a biológiai szövetek működése közötti analógia számára; e közlemények a biológiai makromolekulákat hozták kapcsolatba az anorganikus félvezetőkkel. Így MÖGLICH és SCHÖN (56) „Zur Frage der Energiewanderung in Kristallen und Molekülkomplexen” c. rövid közleménye szerint „treten (sc. in Komplexen gleichartiger Moleküle) die Elektronen miteinander in Austausch, so dass es nicht möglich ist, die Elektronen . . . zu lokalisieren.” Azonos véleményt nyilvánított JORDAN (48) hangoztatva: „Die lockeren Elektronen des Moleküls (organische Riesenmoleküle) sollen . . . in Energiebänder untergebracht vorgestellt werden, welche dem ganzen Molekül angehören”.

Ezek alapján úgy látszott, hogy kialakult a biológiában egy új irány, mely az ortodox molekuláris biokémiai szemléleten túllépve eljutott az élő rendszerek elektronbiológiai, ill. biofélvezetői szemléletéig. Ez a szemlélet részben megegyezett, részben kiegészítette tudományos munkásságom kiinduló feltevését, mely az izomtevékenység elméletében az *organikusan kötött kálium-elem ionizációját* tételtezte fel.

Ezt a felfogást megerősítette többek között SZENT-GYÖRGYI et al. 1939-es cikke (64), mely a kontrakcióval kapcsolatban szereplő kálium mennyiségéről megállapította: „This quantity of potassium can actually be liberated during a tetanic contraction.”\*\*

Ezzel szemben határozottan ellentmondott ugyan a „kötött kálium” koncepciójának HILL egy korábbi közleménye (39), azonban ez a tény már nem gyengíthette felfogásom további megalapozását a következő 1940—41-es közlemények révén. Egyikben RIEHL (58) hosszabb cikkben összefoglalva az anorganikus foszforokra vonatkozó adatokat, kifejtette, hogy ezekhez hasonlóan értelmezhető az energiavándorlás az „organikus molekulakomplexumok” esetében. Egy évvel később megjelent közleményében SZENT-GYÖRGYI (61)

\* A tényekkel szemben álló közléssel bárkinek jogában áll elárulni tájékozottságát egy tudományos kérdésben (HASSELBACH, 38).

\*\* Ezért komoly reményeket fűztem Szent-Györgyi megtisztelő meghívásához szegedi intézetében végzendő tudományos együttműködés céljából (annál is inkább, mert a hazai fasizmus akkor ugyan még nem gyilkolt, de további munkásságom lehetősége nagyon problematikussá lett). Azonban a Szent-Györgyi-team 1939—1944-es ott-tartózkodásom alatt az izomkontrakció elméletével inkább molekuláris (aktomiozin + ATP) szemlélet alapján foglalkozott (62).

hivatkozva Jordan és Riehl cikkeire, maga is hangsúlyozta „Theoretically the possibility exists that within protein molecules analogous conditions prevail to those in crystals”.

Összefoglalva: századunk 4. évtizedének végén természettudományosan megalapozottnak látszott a *biológiai elektromosságot elektronfolyamatnak és a biológiai szövetet félvezetőnek tekinteni.*

II. Azonban bár jól elő lett készítve a talaj ahhoz, hogy áttérjen a biológia a *molekuláris szemléletről a subatomáris szemléletre*, nem könnyen indult meg az ilyenfajta tudományos termelés, és még ma sem hozott megfelelően dús termést; a helyzet megértéséhez több faktor járulhat hozzá.

1. Mindenekelőtt a biológusok óriási többségének természetszerű elmaradása a fizika, ill. a fizikai kémia hatalmas fejlődésétől, amely rövid idő alatt a *molekuláris fizikától* eljutott a kvantumelmélet *subatomáris* szemléletéig. Továbbá a biológusok (ti. az ún. experimentális biológusok) túlnyomó többsége a kémia molekuláris szemléletének útján járt — még hozzá gyakran kitűnő eredményekkel —, és nem realizálta elég gyorsan, hogy az egzakt természettudomány elvileg új útra tért. Viszont ez az új út mindjárt a kezdetben több irányba látszott mutatni a biológiában.

a) Az *elektronbiológiának* nevezhető ág a szűkebb értelemben vett töltés-átvitelre fordította figyelmét, és még ezen belül is külön területet nyitott az enzimológiának. Az értékes eredmények ellenére sem alakult ki az „Elektronbiológia” tudományszak, ha nagyon előre lendítette is pl. PULLMANN (57) munkássága, kitűnően alátámasztva az elgondolást, mely számos biológiai akciót elektron donor-akceptor folyamattal értelmezett.

b) Sokkal kevésbé jutott általános érvényre az új út másik ága: a „*Biofélvezetés*” tana, pedig a fent idézett közlemények tanúsága szerint ez a szemlélet megelőzte a szűkebb területre szorítkozó elektronszemléletet. A félvezető szemléletnek ma is tapasztalható irodalmi izoláltságát talán az is mutatja, hogy pl. РИЛЬ\* még az 1955-ös összefoglaló közleményében (59) sem idézte ELEY et al. (15) biológiai cikkét (1953), amelynek címében is szerepel a „félvezető” kifejezés, és amely megerősítette volna РИЛЬ mondanivalóját. Hasonlóképpen mellőzte SZENT-GYÖRGYI kitűnő könyvében (63) ERNSTnek a biológiai félvezetőkre vonatkozó korábbi közleményeit (17, 18, 19), pedig segítettek volna alátámasztani SZENT-GYÖRGYI újabb elgondolását a félvezetőkkel kapcsolatban.\*\*

c) „*Proton-folyamatok*” címmel jelezhető a harmadik út, mely a biológiai jelenségeknek és működési mechanizmusuknak kutatásával foglalkozik, és a subatomáris biológia harmadik nagy területére visz. Ennek az ágnak sem sikerült mélyen betörnie a biológusok köztudatába, pedig igen jelentős mon-

\* РИЛЬ, az orosznyelvű közleményekben, RIEHL az egyéb nyelvűekben.

\*\* Különösen áll ez ERNST korábbi könyvére (19), mely külön fejezetben részletesen tárgyalta a biológiai ingerületet félvezető-folyamatként.

danivalója van pl. az ingerület tanában, hiszen a proton nagysága és mobilitása azonos az elektronnal.\* Más kérdés, hogy mindkettőt hidratált állapotában gondoljuk-e biológiai funkciójuk közben.

d) Újszerűségével indokolható, hogy még bizonytalanabb a *pozitronium* szerepe a biológiai köztudatban, noha a hidrogénatomhoz való szoros hasonlósága mellett tömege ennek csak kb. ezredrészét teszi ki. E kérdés kapcsán felmerül általában az *elemi részecskék* biológiai szerepének problémája, hiszen ezek zápora ér minden biológiai egységet a kozmikus sugárzás révén.

e) De maga a *sugárzás* is képezheti a subatomáris biológia fontos fejezetét, hiszen a szervezeten belüli és kívüli  $\beta$ -aktivitás nagy energiájú elektronnal látja el pl. az emberi szervezet minden sejtjét minden másodpercben (ha egyenletesen oszlnék el a testben; minthogy nem egyenletes az eloszlás, egyes sejtek egyes részeiben egy időben több elektron léphet fel).

E közbevetett II. pontban arra kívántam felhívni az olvasó figyelmét, hogy a subatomáris biológia az egzakt biológiának inkább a jövője irányába mutat. Mindenesetre azt is megjegyzem, hogy a subatomáris biológiai kiemelése nem irányul a molekuláris biológia háttérbe szorítására, hiszen mindkettő fontos lépésőt jelent a biológiai kutatásban, ill. megismerésben éppúgy, mint a többi lépcső: a supermolekuláris-, a sejt- és szövetbiológia, valamint azok a diszciplínák, amelyek tárgya a szövetek, a szervek, a szervrendszerek, az egyedek és a populációk jelenségei. Mindezek között a legkevésbé művelt terület a subatomáris, bár ezen belül leginkább az elektronbiológia virágzott ki különösen az enzimológia\*\* és a fotoszintézis területén, viszont alig érvényesül pl. az ingerület tanában.

III. Az ideg- és izomszövetek *ingerületének* problematikájában élre tört az *ionkoncentrációs* (K, Na), ill. a molekuláris (acetilkolin) szemlélet és negatív hatással volt az elektron-, ill. a biofélfelvezető szemlélet elterjedésére.

III. 1. Az ingerületnek ionkoncentráció- és membrán permeabilitási elméletét HODGKIN hipotézise (42) két állításra építi: a) a *fiziológiás* ingerület állapotában a „membrán” permeabilitásának növekedését állítja; b) az ideg-, ill. az izom-szövet K- és Na-ionkoncentrációját az összes K- és Na-tartalomból és az egész víztartalomból számítja ki.

a) Az ingerület elméletében szereplő membrán-permeabilitás-növekedést *fiziológiás* ingerületben soha senki sem bizonyította experimentálisan (ERNST, 19; VARGA—MÁNYI, 68), az ellenkezőjét számos közlemény (ERNST, 19; WINTERSTEIN, 72, 73) és bőséges összefoglaló irodalom (ГРОШИИ, 67; LING 51, 52). De maga a membrán-koncepció nem áll ellentétben a subatomáris szemlélettel, hiszen pl. lipid filmekkel kapcsolatos a megállapítás, hogy bennük az elektronok a főszereplők a vezetés mechanizmusában (WEI, WOO, 71).\*\*\*

\* Szemben pl. a Na-ion sokszorta kisebb mobilitásával.

\*\* Lásd pl. CHANCE (9) „The Nature of Electron Transfer and Energy Coupling Reactions” c. összefoglaló cikkét 113 idézettel.

\*\*\* Lásd ezzel szemben (ADAM, 1).

b) Az ingerület elmélete a bioáramok kísérleti tényéből indul ki; a „nyugalmi” ún. demarkációs potenciáldifferenciát K-ion koncentráció-differenciával magyarázza. E kérdés megtárgyalásánál visszatérek a „kötött” káliumra vonatkozó feltevésre, amelyhez az utóbbi években mind több kísérletes adat csatlakozott (LING, 51, 52; COPE, DAMADIAN, 10). Ha azonban a K-tartalom egy része nem vesz részt a K-ionaktivitásban, akkor jogtalan a Nernst-egyenletben (vagy a Goldmann-félében) az egész kálium-tartalomnak megfelelő kálium-koncentráció értékkel számolni. Különben is alaptalan a „nyugalmi” ioneloszlással számolni, mert nyugalmi áram nincs, csak sértési van, a sértés pedig minden esetben ingert is jelent. (A  $\text{Na}^+$ -ion szerepére vonatkozó feltevés hasonlóan megalapozatlan és számos kísérletes közlemény cáfolja.)

Összefoglalva; az egész elmélet azon a helytelen szemléleten alapszik, mely a működő biológiai egységet *elektrolit-oldatnak* tekinti, és amely szerint a különböző „koncentrációjú” oldatokat változó permeabilitású *anatómiai* membránok választják el egymástól.

III. 2. Elvileg tisztázódik a helyzet, ha elszakadunk a helytelen elektrolit-szemlélettől és úgy tekintjük a működő biológiai egységet, mint komplikált *heterogént rendszert, melyben organikus polimerek- anorganikus atomok\* -víz-molekulák\*\** „szilárdtest”-szerű szorosabb egysége gélként tartózkodik hígabb szolban. E felfogást alátámasztják az anorganikus atomok „kötöttségéről” szóló fentebb közölt adatok, és egyéb nagy irodalom. A víztartalom egy részének kötöttségét szerző kimutatta (ERNST, 28, 19) és megerősítette számos közlemény, ha folyik is vita metodikai kérdésekről. A „quasi szilárdtest” szemlélet helyességét igazolja a közvetlen tapasztalat pl. izmon; idegen pl. HODGKIN és KATZ (43) munkája, mely az axoplazmát szilárd testként írja le; továbbá pl. a fehérjét „parakristályként” leíró közlemény (BERNAL, 4).

Ez az elgondolás pedig közvetlenül elvezet a biofélvezető szemléletig; a félvezetőket érő kémiai és fizikai behatások — mint ismeretek — elektronfolyamatokat indítanak meg. Ilymódon eljutunk az elektronbiológia koncepciójához, az ingerület elektron-hipotéziséhez.\*\*\* Ezúton könnyedén értelmezhetjük azokat a jelenségeket, amelyeket az ionkoncentráció-membránpermeabilitás hipotézise bizonyos határok között meg tud magyarázni, de azokat is, amelyeknél csődöt mond ez a hipotézis. a) Így pl. ionvándorlás (és permeabilitás-változás) nem hozhatja létre a 100—2000 Hz frekvenciájú elektromos impulzus-sorozatokat, amelyek viszont egyszerűen értelmezhetők a biofélvezetés szemlélet alapján (lásd a c pontot).\*\*\*\* b) Az egyes esetekben anatómiailag bizonytalan membrán és annak már-már szeszélyesnek látszó permeabilitás-változása a különböző csatornákkal a különböző ionok számára — mint fel-

\* Ezek az atomok a félvezető anorganikus foszforok „szennyeződéseihez” hasonló szerepet tölthetnek be.

\*\* Lásd a „kötött víz”-ről szóló irodalmat (pl. ERNST, 23).

\*\*\* A proton kérdést ezúttal nem tárgyalom.

\*\*\*\* Nem monográfia-jelen közlemény, ezért nem idézek részletes irodalmat.

tételezés, ma még fölényben van a biológiai köztudatban a biofélvezetés szemléletével szemben. Ez utóbbi azonban sok esetre egyszerűbbnek tekinti a félvezető zárórétegről szóló elgondolást (ERNST, 17, 18, 19), amelyet más szerzők is megerősítettek (pl. WEI, 70; JOHNSON, 47), és amely egyúttal fizikai képet ad a biológiai egyenirányítás mechanizmusa számára.

c) De talán még világosabban mutatkozik a biofélvezető koncepció előnye az ionkoncentráció-membránpermeabilitás elgondolással szemben az ingeringerület folyamatban fellépő szabályozás mechanizmusának értelmezésében. Legyen egyik példám a Vater—Paccini végtestecske, amely érintésre egyenáramú impulzust produkál a receptorban, az elvezető érzőidegrostban pedig frekvens impulzus-sorozatokat (pl. ERNST, 21).

Másik például szolgáljon az évszázados ismeret, mely szerint a biológiai szövet képes egyenáramú frekvens impulzusok sorozatává változtatni (pl. ERNST, 21, 24, 22). E változtatást az információ-elmélet szellemében kódolásnak foghatjuk fel, mely a bioszabályozás szolgálatában is áll.

Ezzel már benne vagyunk a biológiai alproblémák sűrűjében; nem vesztegetve tovább az időt idejétmúlt hipotézisek elemzésével, rátérek a fenti jelenségek fejtegetésére a *biofélvezető* koncepció alapján. Ezúton a fizika adataira támaszkodva megfelelő nívón írhatjuk le az előbb említett frekvencia-modulációs jelenségeket.\* Hiszen már az 1950-es években ismeretesek voltak az adatok (GOUDET, 32,) amelyekre épül a Gunn-effectus (35, 36): vékony félvezetőlemeze adott egyenáram frekvencia-modulációval frekvens váltóáramot termel. *A fizikai alapokon nyugvó biofélvezető koncepció könnyedén oldja meg az ingerület egyik fontos bioelektromossági problémáját, amellyel kapcsolatban a mai ionvándorlási elmélet tehetetlen.*

IV. A biofélvezetőre vonatkozó koncepció az ingerület problémáját átsegíti az elektronbiológia területére, de ezen túlmenően sokkal tágabb biológiai terület áttekintésére nyújt biztató perspektívát. A könnyebb áttekintés érdekében megemlítem a fizikai alapokat.

IV. 1. Ha félvezetőt besugárzunk  $\alpha$ -,  $\beta$ - vagy  $\gamma$ -sugárral, akkor abból „radioaktív battéria” lehet (GOUDET, 32), amely pl. 0,1 V feszültségű áramot termel. Az élő rendszert, mint ismeretes, többféle sugárzás éri kívülről is, belsőjéből is, és így felmerül a sugárzások hatása a biofélvezető szempontjából. TICZYI több közleményben többek között leírta (65, 14, 66), hogy betatron 15 Mev-os  $\beta$ -sugárral kezelt békaszív ventriculusának (Stannius-ligaturában) ingerlékenysége nőtt. Hasonlóan fontos a másik munka eredménye, amely

\* Tudománytörténeti érdekessége miatt említem, hogy HODGKIN 1948-ban (41) közölt adata demonstrálja, hogy az idegen kiváltott egyenáramú generátor potenciál frekvens váltóáramú sorozatot termel. Ez az adata a fentebb említettel együtt (43) irányt mutathatott volna HODGKINNAK a biofélvezetés elméletének jövő útjára. Ehelyett (A. F. Huxley hatásra?) az idejétmúlt ionvándorlás-permeabilitásváltozás hipotézisét dolgozta ki, amelynek matematikai elmélete kétséges értékű, experimentális alapját viszont mások eredményei szolgáltatták: a) overshoot (BURDON—SANDERSON, GOTSH 8), b) permeabilitásváltozás (BERNSTEIN 5), c)  $K^+$ - $Na^+$ -eltolódás (ERNST, SCHEFFER 27), ha nem is hivatkozik rájuk.

szerint tríciumos ringerben inkubált békasartorius ingerlékenysége nőtt az így bevitt  $\beta$ -sugárzás hatására. Ezek az adatok irányt mutattak a biofélvezetők elvi kidolgozásának ígéretes útjára; ugyanezen biztató úton haladnak azok a kutatások is, amelyek a békaizomban mint félvezetőben megindított scincillációt sikeresen regisztrálták.\* Röviden: a *biológiai szöveteknek tulajdonított félvezető tulajdonság fizikailag megalapozott képet ad számos biológiai jelenségre, amelyek különböző sugárzásokkal kapcsolatban lépnek fel.*

IV. 2. Még sokkal tágabb perspektívát képes bevilágítani a biofélvezetés koncepciója.

Ugyanis kibővítve az előző pontban tárgyalt kísérleti eredményt, előtérbe állíthatók azok az adatok, amelyek szerint a sugárzás félvezető tulajdonságokat indukál a besugárzott anyagban (50, 3). Hadd idézzek ehelyütt a 15 év előtt tartott előadásomból\*\* (42. lap): „Ha NaCl kristályt erős sugárhatás ér, kékes-ibolyás színeződést vesz fel és félvezető sajátosságokat mutat. Most már az az érdekes, hogy a természetben is található ilyen kékes-ibolyás színű kőso, amit szintén sugárhatásnak tulajdonítanak, és ez is félvezető tulajdonságokkal rendelkezik. Ebben a példában logikai láncszemek is szerepelnek a bizonyításban, ezért szeretném megemlíteni LARK-HORVOVITZ (50) és munkatársainak még 1948-ban röviden közölt eredményét, mely szerint tiszta, vagy p-, illetve n-típusú germaniumot besugározták (~ 10 Mev deuteriummal) és ilyenkor új félvezető tulajdonságokat tapasztaltak a mintadarabokon. Hasonló eredményről értesítettek 1 évvel később BECKER és FAN (3), amennyiben germaniumnak  $\alpha$ -sugárzással történt kezelése után új félvezető tulajdonságokat találtak a mintákon. Minthogy a biológus köztudat nagy jelentőséget tulajdonít a sugárzásnak az élet keletkezésében Földünkön, ezúton szervesen beépül az élet keletkezésének problémájába a biofélvezetés koncepciója.

#### IRODALOM\*\*\*

1. ADAM, G.: J. Membr. Biol. **3**, 291 (1970).
2. AZUMA, J.: Proc. Roy. Soc. Lond. B **101**, 24 (1927).
3. BECKER, M., FAN, H.: Phys. Rev. **75**, 1631 (1949).
4. BERNAL, J.D., FANKUCHEN, I.: Nature **139**, 923 (1937).
5. BERNSTEIN, J.: Arch. ges. Physiol. **92**, 251, 542 (1902)
6. BERNSTEIN, J.: ibid. **92**, 521 (1902)
7. BERNSTEIN, J.: ibid. **131**, 589 (1910).
8. BURDON-SANDERSON, J., Gotsh, F.: J. Physiol. **12**, 43 (1891).
9. CHANCE, B., FEBS Letters **23**, 3 (1972).
10. COPE, F.W., DAMADIAN, R.: Nature **228**, 76 (1970).
11. DITTLER, R.: Arch. ges. Physiol. **150**, 262 (1913).
12. DITTLER, R.: Z. Biol. **83**, 29 (1935).

\* Ezen az úton haladva elérkeztünk olyan perspektívához, hogy a sejtrészlegek időben és térben lefolyó különböző tevékenységei időben és térben elosztott scincillációval járnak, amit televíziószerűen lehetne regisztrálni.

\*\* Előadás a MTA nagygyűlése alkalmából 1958. okt. 27-én; lásd a szerkesztőség felkérésére írt cikkemet (20).

\*\*\* Csak a közleményben említett kérdésekkel kapcsolatban álló cikkek, de ezekből is inkább csak példák kerültek felsorolásra; lásd a függelékét.



13. DITTLER, R., HANNAPEL, J.: *ibid* **100**, 347 (1940).
14. EGYED, E., TIGYI, J.: *Acta biochim. biophys.* **5**, 333 (1970).
15. ELEY, D.D., PARFITT, S.D., PERRY, J., TAYSUM, D.H.: *Trans. Faraday Soc.* **49**, 79 (1953).
16. ERNST, E.: *Arch. ges. Physiol.* **220**, 672 (1928).
17. ERNST, E.: *Wissensch. Z. Humboldt-Univ. Berlin. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe. Jg V.* 167 (1955—56).
18. Эрнст, Э.: *Биофизика* **1**, 296 (1956).
19. ERNST, E.: *Muskeltätigkeit. A II. kiadás: Biophysics of the Striated Muscle* (1963) Akadémiai Kiadó, Budapest. (1958).
20. Эрнст, Э.: *Вопросы цитологии о общей физиологии.* 382 с. Издательство Академии Наук СССР. Москва, Ленинград. (1960).
21. ERNST, E.: *Acta Biochem. biophys.* **1**, 321 (1966).
22. ERNST, E.: *ibid.* **3**, 115 (1968).
23. ERNST, E.: *Acta biochim. biophys. Hung.* **5**, 57 (1970).
24. ERNST, E., GÁBOR, K., VARGA-MÁNYI, P.: *ibid.* **2**, 179 (1967).
25. ERNST, E., KOCZKÁS, J.: *Arch. ges. Physiol.* **235**, 389 (1935).
26. ERNST, E., KOCZKÁS, J.: *ibid.* **239**, 691 (1938).
27. ERNST, E., SCHEFFER, L.: *ibid.* **220**, 672 (1928).
28. ERNST, E., TIGYI, J., ZAHORCSEK, A.: *Acta Physiol. Acad. Sci. Hung.* **1**, 5 (1950).
29. FENG, T. P.: *Chin. J. Physiol.* **10**, 535 (1936).
30. FENG, T. P.: *ibid.* **13**, 79 (1938).
31. FISCHER, E.: *Arch. ges. Physiol.* **208**, 79 (1925).
32. GOUDET et al.: *Semiconductors. Their Theory and Practice.* Translated by G. King. Macdonald and Evans, Ltd. London (1957).
33. GUDDEN, B.: in *Ergebn. exakt. Wiss.* **3**, 116. Berlin, J. Springer (1924).
34. GUDDEN, B.: *ibid.* **13**, 223 (1934).
35. GUNN, J. B.: *Physical Letters* **4**, 194 (1963).
36. GUNN, J. B.: *IMB J. Res. Development* **3**, 141 (1964).
37. HARTMANN, H.: *Biochem. Z.* **270**, 164 (1934).
38. HASSELBACH, W.: in *Physiologie des Menschen.* Gauer, Kramer, Jung; Band 4. Muskel. Urban & Schwarzenberg, München, Berlin, Wien (1971).
39. HILL, A. V.: *Proc. Roy. Soc. Lond.* **106**, 445 és 477 (1930).
40. HILL, A. V.: *J. Physiol.* **107**, 518 (1948).
41. HODGKIN, A. L.: *ibid.* **107**, 165 (1948).
42. HODGKIN, A. L.: *The Conduction of the Nervous Impulse.* Liverpool University Press. (1967).
43. HODGKIN, A. L., KATZ, B.: *J. exp. Biol.* **26**, 292 (1949).
44. HOFFMANN, P.: *Z. Biol.* **59**, 23 (1913).
45. HÖBER, R.: *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe.* 4. Aufl. Leipzig und Berlin. W. Engelmann (1914).
46. Йоффе, А. Ф.: *Полупроводник в современной физике,* Изд. Акад. Наук. СССР (1957).
47. JOHNSON, R. N.: *J. Theor. Biol.* **22**, 401 (1969).
48. JORDAN, P.: *Naturw.* **26**, 693 (1938).
49. KATZ, J. R.: in *Ergebn. exakt. Wiss.* **3**, 316 Berlin, J. Springer (1924).
50. LARK-HOROWITZ, K., BLEULER, E., DAVIS, R., TENDAM, D.: *Phys. Rev.* **73**, 1256 (1948).
51. LING, C. N.: *A Physical Theory of the Living State.* Blaisdell Publishing Company, New York (1960).
52. LING, C. N.: *Science* **163**, 1335 (1969).
53. LIPPAY, F.: *Arch. ges. Physiol.* **222**, 616 (1929).
54. LIPPAY, F.: *ibid.* **224**, 587 (1930).
55. MEYERHOF, O., HARTMANN, H.: *Naturw.* **21**, 661 (1933).
56. MÖGLICH, F., SCHÖN, M.: *ibid.* **26**, 199 (1938).
57. PULLMAN, B., PULLMAN, A.: *Les Theories Electroniques de la Chimie Organique.* Masson et Cie, Paris (1952).
58. RIEHL, N.: *Naturw.* **28**, 601 (1940).
59. РИЛЬ, Н. В.: *Журн. Физ. Хим.* **29**, 1537 (1955).
60. SCHÄFER, H., GÖPFERT, H.: *Arch. ges. Physiol.* **238**, 404 (1936).
61. SZENT-GYÖRGYI, A.: *Nature* **148**, 157 (1941).
62. SZENT-GYÖRGYI, A.: *Studies I—IV.* S. Karger, Basel, New York (1942—1944).
63. SZENT-GYÖRGYI, A.: *Introduction to a Submolecular Biology.* Academic Press, New York, London (1960).
64. SZENT-GYÖRGYI, A., ВАС, Z. M., GOFFART, M.: *Nature* **143**, 522 (1939).
65. TIGYI, J.: *Acta Physiol. Acad. Sci. Hung.* **24**, 129 (1963).

66. TIGYI, J., KÁLLAY, N., KUTAS, L.: *Studia biophysica* **1**, 77 (1966).  
 67. Трошин, А. С. (1956): Проблема клеточной проницаемости. Издательство Академии Наук СССР, Москва—Ленинград (1956).  
 68. VARGA-MÁNYI, P.: *Acta biochim. biophys. Hung.* **7**, 97 (1961).  
 69. VERZÁR, F.: *Arch. ges. Physiol.* **143**, 252 (1912).  
 70. WEI, L. Y.: *Science* **163**, 280 (1968).  
 71. WEI, L. Y., WOO, B. Y.: *Biophys. J.* **13**, 877 (1973).  
 72. WINTERSTEIN, H.: *Naturw.* **19**, 247 (1931).  
 73. WINTERSTEIN, H.: *Handb. Norm. Path. Physiol. Bethe etc.* **18**, 246 J. Springer, Berlin (1932).  
 74. WISHART, G. M.: *Arch. ges. Physiol.* **208**, 65 (1925).  
 75. ZOTH, O.: *Ergebn. Physiol. B* **22**, 345 (1923).

## FÜGGELÉK

A közleményhez közölt nagyon hiányos irodalomjegyzék némi kiegészítésül szolgáljon az alanti felsorolás, mely szintén nem tart igényt a teljességre.

- ADAM, G.: *Z. für Naturforschung* **23b**, 181 (1968).  
 ADRIAN, R. H.: *Phys. Berichte* **49**, 1689 (1970).  
 ARADI, F.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **5**, (1) 91 (1970).  
 ARADI, F., FUTÓ, Z.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **5**, (1) 81 (1970).  
 ARADI, F., SCHÄFFER, B.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **6**, (3) 299 (1971).  
 Artificial Neuron Uses Transistors.: *Electronics* **32**, 74 (1959).  
 BAER, Y., BUSCH, G., FRÖHLICH, C.: *Z. für Naturforschung* (1962) **17a**, 886 (1962).  
 BELÁGYI, J.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **7**, (3) 289 (1972).  
 BELEZNAVY, F., BICZÓ, G., LADIK, J.: *Acta physica Acad. Sci. Hung.* **18**, 213 (1965).  
 BERNSTEIN, J.: *Pflügers Archiv* **92**, 521 (1902).  
 BIRÓ, G.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **3**, 107 (1968).  
 BIRÓ, G., GÁBOR, K.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **4**, (3) 313 (1969).  
 BIRÓ, G., GÁBOR, K., ÖRKÉNYI, J.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **5**, (1) 99 (1970).  
 BOROS, J.: *Természet és társadalom* **93**, 471 (1954).  
 BOZÓKY, L., KISZELY, GY., HOFFMANN, T. A., LADIK, J.: *Nature* **199**, 1306 (1963).  
 BRADLEY, J., WILLIAMS, E. J.: *Biochim. biophys. Acta* **135**, 1078 (1967).  
 BULLOCK, F. J.: *Comprehensive Biochemistry*. Ed. M. Florkin a. Stotz **22**, p. 81. 149. Elsevier Publ. Comp. Ams. New York, London (1967).  
 BUSCH, G. A.: *Halbleiter u. Phosphore*. Ed. M. Schön u. H. Welker, F. Vieweg u. Sohn. Akad. Verlag, Berlin (1958).  
 CAVALLITO, C. J.: *Federation Proceedings* **26**, 1647 (1967).  
 COLE, K. S.: *J. of General Physiology* **25**, 29 (1941).  
 DIGBY, P. S. B.: *Proceedings of the Royal Society B* **161**, 504 (1965).  
 Добролюбский, О. К.: *Бюлл. Моск. об-ба исл. природы, отд. биол. с* 107 (1956).  
 DOUZOU, P. et THUILLIER, J. M.: *J. Chim. Phys.* **57**, 96 (1960).  
 DUANE, W.: *Annalen der Physik und Chemie* **65**, 374 (1898).  
 EISENBERG, R. S., GAGE, P. W.: *Biophysical Journal* **9**, A-99 (1969).  
 ELEY, D. D., PARFITT, G. D., PERRY, M. J., TAYSUM, D. H.: *Transactions of the Faraday Society* **49**, 79 (1953).  
 FAN, H. Y., LARK-HOROVITZ, K.: *Halbleiter und Phosphore von Schön u. Welker F. Vieweg u. Sohn, Braunschweig Akad. Verlag, Berlin* (1956).  
 Франк, Т. М.: Биологическое действие излучений и клиника лучевой болезни. Москва 50 (1954).  
 FRANKENHAUSER, B.: *J. Physiol.* **152**, 159 (1960).  
 GERARD, R. W.: *Annual Review of Physiology* **4**, 329 (1942).  
 GIBSON, A. F., AIGRAIN, P., BURGESS, R. E.: *Progress in Semiconductors*, Heywood a Comp. Ltd. London, p. 103 (1956).  
 GORDY W., ARD. W. B., SHIELDS, H.: *Proc. Nat. Acad. Sci.* **41**, 983 (1955).  
 GUTMANN, F., SIMMONS, L. M.: *Review of Scientific Instruments* **20**, 674 (1949).  
 HARTE, R. A.: *Journal of the Optical Society of Amerika* **51**, 1275 (1961).  
 HAYNESS, J. R., NILSSON, N. G.: *7th Internat. Conf. Phys. Semicond. Paris*, **4**, 21 (1964).  
 HOOGENSTRAATEN, W.: *Halbleiter und Phosphore*. M. Schön u. H. Walker F. Vieweg u. Sohn, Berlin S. 285 (1958).

- ISAACSON, A., SANDOW, A.: *J. gen. Physiology* **46**, 655 (1963).
- JUNOD, P., MOOSER, E.: *Helvetica Physica Acta* **29**, 194 (1956).
- КАЮШИН, А. П.: *Биофизика* (1959) **4**, 404; (1960) **5**, 40, 279, 379, 636, 663; (1961) **6**, 20, 436 (1962) **7**, 610; (1963) **8**, 550; (1964) **9**, 390, 423, 627; (1966) **11**, 213, 353, 710, 796, 970, 1076; (1967) **12**, 206, 839; (1968) **13**, 33, 401, 600; (1969) 615, 852, 1040; (1970) **15**, 12, 235, 816, 1056; (1971) **16**, 11, 337, 431, 596; (1972) **17**, 547; (1973) **18**, 25, 235, 611, 755.
- Каргин, В. А., Маркова, Т. С.: *Журнал Физической Химии* **27**, 1525 (1953).
- KATZ, V.: *Journal of Physiology* **106**, 66 (1947).
- KEARNS, R., TOLLIN, G., CALVIN, M.: *Journal of Chemical Physics* **32**, 1020 (1960).
- KING, G., MEDLEY, J. A.: *J. of Colloid Science* **4**, 9 (1949).
- KRAUSE, A.: *Bull. de l'Académie Polonaise des Sci.* **8**, 83 (1960).
- LAKATOS, T.: *Acta physiologica. Acad. Sci. Hung.* **22**, 297 (1962).
- LAKATOS, T.: *Studia biophysica, Berlin*, **3**, 263 (1967).
- LAKATOS, T.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **4**, 429 (1969).
- LAKATOS, T., KOLLÁR-MÓRO CZ, A.: *Acta biochim-biophys. Acad. Sci. Hung.* **1**, 413 (1966).
- LAKATOS, T., KOLLÁR-MÓRO CZ, A.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **2**, 191 (1967).
- LAKATOS, T., KOLLÁR-MÓRO CZ, A.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **4**, 99 (1968).
- LAKATOS, T., KOLLÁR-MÓRO CZ, A.: *Acta biochim. biophys. Acad. Sci. Hung.* **4**, 111 (1969).
- LIBERMAN, E. A.: *Biofizika* **3**, 743 (1958).
- LIEB, M.: *Biochim. Biophys. Acta* **37**, 155 (1960).
- LÜTTGAU, H. C.: *Fortschritte der Zoologie* **15**, 92 (1963).
- LÜTTGAU, H. C.: *Fortschritte der Zoologie* **17**, 272 (1965).
- MATSUNAGA, Y.: *Helvetica Physica Acta* **36**, 800 (1963).
- NAGY, L.: *Acta biochim. biophys. Hung.* **5**, 341 (1970).
- NIEDETZKY, A., BELÁGYI, J.: *Acta biochim. biophys. Hung.* **6**, (3) 311 (1971).
- NOBLE, D.: *J. Cell. and Comp. Physiol. Suppl.* 2. to **66**, 127 (1965).
- PEJVE, J.: *Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle* **1**, 64 (1959).
- PODZSUS, E.: *Annalen der Physik* **27**, 859 (1908).
- POSTHUMA, J., BERENDS, W.: *Biochim. Biophys. Acta* **51**, 392 (1961).
- PULLMAN, A. a. PULLMAN, B.: *Biochim. Biophys. Acta* **54**, 384 (1961).
- RIEHL, N.: *Biophysik* **3**, 307 (1967).
- RIESZ, P.: *Biochem. Biophys. Research Comm.* **23**, 273 (1960).
- Риль, Н. В.: *Ж. Физической Химии* **29**, 1537 (1955).
- ROBINS, A. V.: *Energy Transfer in Radiation Processes* Ed. by G. O. Phillips, Elsevier Publ. Comp. Amsterdam, London, New York, pp. 148—152.
- Родинский, С. З.: *Вестник Акад. Наук. СССР*, **9**, 17 (1954).
- ROSEMANN, H. U.: *Zeitschrift für Biologie* **107**, 108 (1954).
- ROSEN, R.: *Biophysical Journal* **9**, A-100 (1969).
- ROSENBERG, B.: *J. Chem. Phys.* **36**, 816 (1962).
- SANDOW, A., a. ISAACSON, A.: *Federation Proceedings* **22**, 403 (1963).
- SCHWARZ, F.: *Acta Biologica et Medica Germanica* **5**, 355 (1960).
- SCHÄFFER, B., ÖRKÉNYI, J.: *Acta biochim. biophys. Hung.* **7**, (3) 255 (1972).
- SHULL, C. G.: *Bulletin of the Amer. Physiol. Soc.* **3**, 141 (1958).
- SZENT-GYÖR CYI, A.: *Journal de Chimie Physique* 916 (1958).
- TAUE, J.: *Halbleiter u. Phosphore. M. Schön u. H. Walker F. Vieweg a Sohn Braunschweig Akad. Verlag Berlin S.* 91 (1958).
- TIPTON, I. H., COOK, M. J., STEINER, R. L., BOYE, C. A., PERRY, H. M. a. SCHROEDER, H. A.: *Hlth. Phys.* **9**, 89 (1963).
- TISCHENDORF, D.: *Berichte d. Physiol.* **298**, 478 (1969).
- TOLLIN, G., a. GREEN, G.: *Biochim. Biophys. Acta* **60**, 524 (1962).
- ТОМИТА, G. a. РАВИНОВИТШ, Е.: *Biophysical Journal* **2**, 483 (1962).
- UNGAR, G.: *Journal de Physiologie* **49**, 1236 (1937).
- VARGA-MÁNYI, P.: *Acta biochim. biophys. Hung.* **6**, (2) 179 (1971).
- Вартабян, А. Т. и Карлович, Й. А.: *Журнал физической химии* **28**, 856 (1954).
- Волкенштейн, Ф. Ф.: *Ж. физической химии* **28**, 422 (1954).
- Волкенштейн, Ф. Ф.: *Ж. физической химии* **26**, 1462 (1952).
- Волкенштейн, Ф. Ф. и Родинский, С. З.: *Ж. физ. хим.* **29**, 485 (1955).
- WASSINK, E. C.: *Journal de Chimie Physique* p. 952 (1958).

\* A Kajüsín-team közleményeiben a szerzők felsorolásában első helyen rendszerint valamelyik munkatárs neve szerepel; a team munkásságának könnyebb áttekintése céljából Kajüsín neve alatt jelzem a közlemények megjelenési adatait.