

- [2] Az ENSZ Környezeti Program (UNEP) Jubileumi ülésének (1982. május, Nairobi) állásfoglalásai. OKTH Budapest, 1982.
- [3] Industry and Environment — The Next Decade, The United Nations Environment Programme. Paris, 1982.
- [4] „A fizika helye és szerepe a környezetvédelemben”. Az MTA Debreceni Akadémiái Bizottságának Matematikai — Fizikai Szakbizottsága és a MTESZ Szolnok Megyei Szervezete által 1978. okt. 23-án Szolnokon rendezett ankét előadásai. (Szerk. Kovách Ádám). ATOMKI Közl. 24 (1982) 1. Suppl.
- [5] J. L. Head, A. J. H. Goddard and P. J. Grant, Phys. Reports 53 (1979) 337.
- [6] A. Preston, Atomic Energy Rev. 15 (1977) 403.
- [7] Jakucs Pál, ATOMKI Közl. 24 (1982) Suppl. 1. p. 8.
- [8] J. C. G. Walker, „Evolution of the Atmosphere”. McMillan Publ. Co. New York, London, 1977.
- [9] „Environment.” Economic Bull. for Europe. 34 (1982) No. 1.
- [10] „Issues and Perspectives”. Economic Bull. for Europe 34 (1982) 1.
- [11] U. Grassl, E. Maier — Reiner, E. T. Degens, S. Kempe and A. Spitz, Naturwissenschaften, 136 (1984) 129.
- [12] G. E. Likens, R. F. Weinght, J. N. Galloway and T. J. Butler, Sci. American, 241 (1979) No. 4. p. 39.
- [13] Jakucs Pál, L. Mészáros Ilona, B. Papp László, Cs. Szabó Mária és Tóth János Attila, MTA Biol. Oszt. Közl. 24 (1981) 67.
- [14] L. Kövér and J. Tóth, Atmospheric Environment, nyomás alatt.
- [15] Berényi Dénes „A Szilárdtestkutatás Újabb Eredményei”. 5 (1979) 131.
- [16] Berényi Dénes, Időjárás 85 (1981) 323.
- [17] Biró Zsigmond és Medve Ferenc ATOMKI Közl. 24 (1982) 23.
- [18] I. Kiss, E. Koltay, Gy. Szabó, Á. Mészáros, S. László and S. Gödény, ATOMKI Közlemények 22 (1980) 321.
- [19] Szabó Gyula, Koltay Ede, Kiss Ildikó, Mészáros Ágnes László Sándor magán közlés 1984.
- [20] R. Dams and J. DeJonge, Atmospheric Environment 10 (1976) 1079.
- [21] Bacsó József és Berényi Dénes, Izotóptechnika, 17 (1974) 33.
- [22] J. Bacsó, M. Kis-Varga, P. Kovács and G. Kalinka, J. Radioanal. Nucl. Chem., 81 (1984) 59.
- [23] „Radiation — a Fact of Life”. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1979.
- [24] J. P. McBride, R. E. Moore, J. P. Witherspoon and R. E. Bianco, Science 203 (1978) 1045.
- [25] Csongor Éva, ATOMKI Közlemények 21 (1979) 1
- [26] Csongor Éva, magán közlés, 1984.
- [27] Csongor Éva és Hertelendi Ede, ATOMKI Közlemények 23 (1981) 189.
- [28] Csongor Éva és Hertelendi Ede, Izotóptechnika 24 (1981) 188.
- [29] E. Hertelendi and E. Csongor, Radiochem. Radioanal. Letters 56 (1982) 103.
- [30] Bacsó József, Kiss Keve Tihamér, Szalay Sándor, Hidrológiai Közl., 1978 1. szám p. 22.
- [31] Bacsó József, Kis-Varga Miklós és Kalinka Gábor, lásd Berényi Dénes, Acta Agronomica Hung., közlés alatt és magán közlés (Bacsó J.)
- [32] A Szalay and A. Muranyi, Acta Alimentaria Hung., 11 (1982) 351.
- [33] K. Ishii, S. Morita, H. Tawara, T. C. Chu, H. Kaji and T. Shiokawa, Nucl. Instr. Meth. 126 (1975) 75.

ÖKOLÓGIAI ÉS FIZIKAI KUTATÁSOK A KÖRNYEZETVÉDELEM ÉRDEKÉBEN (KORREFERÁTUM)

Jakucs Pál

KLTE Ökológiai Tanszéke, Debrecen

Mint ökológus-biológusnak fizikai szakismereteim igen végesek. Mégis megpróbálok felvillantani néhány gondolatot, amely a környezetvédelem alapkutatásainak és a fizikai kutatások *kapcsolhatóságának* jövő lehetőségeit rejtheti magában.

A könnyebb érthetőség kedvéért azonban legyen szabad először néhány *fogalmat* tisztázni. Először is, hogyan definiáljuk mi a környezet fogalmát? *Környezetnek* nevezzük az élettelen és az élő természet soktényezős, egymással többnyire bonyolultan összefonódó rendszeréből azoknak a tényezőknek a viszonylag *szűk* csoportját, amely az adott élőlények halmazainak életfolyamataira *ténylegesen hat*, azt közvetlenül pozitívan vagy negatívan befolyásolja. Az *ökológia tudományát* pedig így határozzuk meg: Olyan egyedfeletti szerveződési szintű *biológiai diszciplína*, amelynek tárgya az élőlényekre kívülről közvetlenül ható környezeti és az ezeket a hatásokat belülről fogadó tűrőképességi tényezők *direkt összekapcsoltságának* (komplementaritásának) vizsgálata, azaz azoknak az okoknak a feltárása, amelyek az élőlények tér- időbeni tömegeloszlását, s az ennek változásában megnyilvánuló viselkedést *ténylegesen* befolyásolják.

A modern ökológiai szemlélet lényege tehát az élőlényközpontúság és a környezeti hatások élőlények általi indikációja.

Már ezekből a definíciókból is kiviláglik, hogy a környezetvédelmi célkitűzésű ökológiai alapkutatásokban döntő az integrált természettudományi szemlélet (biológiai kiindulású, de fizikai, kémiai, földtudományi, meteorológiai stb. módszerekkel való közelíthetőség), de mindezeknek még szorosan kapcsolva kell lenniük a gazdasági, politikai és társadalmi diszciplínák eredményeihez is (utóbbi alatt elsősorban az ökológiai és ökonómiai szemléletek között gyakorta fennálló ellentétek feloldásának szükségességére is utalok).

Környezetünk *populációkból, társulásokból* tevődik össze, amelyeket szisztémanalízissel vizsgálva tekinthetünk *ökoszisztémának*. Ezeknek közös jellemzőjük, hogy energiát megkötő, termodinamikailag nyílt rendszerek, amelyekben állandó anyagmozgás van. A környezeti tényezők hatásmechanizmusában az élettelen anyagok be- és kiáramlanak, illetve a rendszeren belül — többnyire zártabb cirkulációkban — mozognak. Közben az élettelen elemek az élőkre jellemző kémiai kötésekkel bonyolult vegyületekké szerveződnek, ill. szétbomlanak. Az anyag körforgalmát az élőlények táplálkozási hálózatain keresztül térben és időben az autotróf szervezetek által megkötött, majd a rendszeren átáramló energia tartja működésben.

Az említett biogén elemeknek két fő típusa van. Az élőszervezetek felépítésében gyakorlatilag részt vevő 40 elem közül négy (O, N, C, H), fő tartózkodási helye az atmoszférában és a hidroszférában van. Innen kerülnek az élőkébe, amelyek testének 97–98%-át ezen elemek alkotják. E négy, *gázfázisú elem* globális és ökoszisztémán belüli körforgalma viszonylag tökéletes és nehezen zavarható meg. Nagy atmoszférikus tartalékuk miatt önszabályozásuk meglehetősen gyors. Kivételt talán csak a szén képez, amelynek kiscserélődési ideje a bioszférában csak 36–40 év, tehát mennyiségbeli változása kritikus hatások elindítója lehet.

A tápanyagcirkulációk másik típusát az ún. *szediment-típusú* ciklusok képezik. Itt az elemek fő raktározó-helye a földkéreg, elsősorban ennek lassú mállása révén jutnak a talajba, onnan az élelmi láncokba. E ciklusok viszont igen könnyen megszakadhatnak, kevésbé „tökéletesek”, a populációk és társulások ökológiai homeosztázisának gyors megzavaródását okozhatják.

Amíg az ember nagy arányokban nem avatkozott be a körülötte évmilliók óta működő és magát önszabályozni képes ökoszisztémák elemciklusába, azok—fizikai kifejezéssel élve—tartósan dinamikusan kvázistacionárius mozgásállapotban léteztek, s *az ember csak egy láncszeme volt e rendszereknek*. Ma azonban a technika és a tudomány minden eszközével szétörjük a cirkulációkat, ökonómiai érdekből mi akarjuk szabályozni e folyamatokat, anélkül, hogy tulajdonképpen megfelelő ismeretünk lenne ezek pontos működéséről, ill. kapcsolatösszefüggéseikről.

Ilyenek és ehhez hasonlóak a mai ökológiai alap kutatások fő gondjai és feladatai és ezekhez a fizika — véleményem szerint — sok helyen kapcsolódni tudna tapasztalataival és ismeretanyagaival. Ha figyeltünk az eddig mondottakra, egyértelmű volt, hogy az *anyag és az energia* gyakran szerepel az ökológia kutatáskérdéseiben. Az anyag és energia a fizikának is tárgya. Ha ezt a tényt elfogadjuk kiindulásként, megpróbálok két kapcsolódási vonalat felvetni a két tudomány között:

Az *egyik vonal* az ökológiai rendszerek működésének egzaktabb elméleti leírásához, a *másik vonal* pedig az ökológiai rendszerek folyamatainak méréséhez szükséges műszerezettség kifejlesztéséhez kapcsolódik.

Elméleti vonatkozásban kétségtelenül a legfontosabb tennivaló lenne a fizikai mozgásformák törvényeinek a biológiai mozgásformákhoz való közelítése. A fizikai-kémia pl. az anyag molekuláris és kémiai mozgásformáinak egymással, valamint a termikus, elektromágneses, atomfizikai stb. mozgásformák összefüggéseivel és a megfelelő átalakulások tanulmányozásával foglalkozik. Ilyen vonatkozásban az egyed alatti szintű biológiában már eddig is sok volt a kapcsolódási lehetőség (biofizika). A biológiai szerveződési szinteknél azonban nemcsak a molekuláris szint, hanem a szervezet szintjének mozgásformáit is közelítettük már a termodinamikusan lehetséges folyamatok kapcsolásával.

Alapvetően más dimenzióban jelentkeznek a kérdések azonban az *egyedfeletti organizáltságban*. Egy erdő, vagy nádas, vagy gabonavetés szintén

tekinthető rendszernek is, de itt már olyan nagyszámú, állandóan változásban lévő paraméterrel találjuk szembe magunkat, amelyeknek a meglévő fizikai törvények alapján történő pusztá leírása is nehezen képzelhető el, legalábbis egyelőre.

Az ökoszisztémák energetikailag, egészüket tekintve, nyílt rendszerek, amelyekre kimondhatjuk pl. a termodinamika I–II. főtételének érvényességét; *azaz igaz az*, hogy a természetes rendszerekben szabadenergiacsökkenéssel végbemenő folyamatok érvényesülnek, amelyek általában irreverzibilisek. Az általános tétel kimondásán túl azonban a konkrét rendszermodellezésnél már nehézségeink vannak. Hiszen még csak egyes biológiai részfolyamatait kezdjük megismerni e bonyolult működésű rendszereknek, de alig van információnk arról, hogy mely további paramétereket kellene *kiválasztani és kitüntetni* az egészre vonatkozó kísérleteknél. Tény az is, hogy már most is többnyire próbálgatjuk ráhúzni az élő-élettelen, többdimenziós tér-időfüggvényes ökoszisztéma-folyamatokra a fizikai folyamatokra korábban megállapított tételeket is (általában a fizikában nyílt rendszerekre megállapított tételeket), közben azonban látjuk, hogy ezek nem érvényesek még akkor sem, ha a főtétel egészében elfogadható. Az is előfordul, hogy a zárt fizikai rendszerek törvényeinek alkalmazásával próbálkozunk eredményhez jutni a kétségtelenül nyitott rendszerű környezetbiológiai folyamatoknál.

Példának felhozom az entrópia-kérdést, amelynek ismerete az ökoszisztémákban is nagyon fontos lenne, de magára az egész ökológiai rendszerre ez sehol nincs még kidolgozva (legfeljebb egyes részfolyamatokra vagy az ökoszisztémát felépítő egyes szervezetek szintjére). Pedig tudjuk, hogy az ökoszisztémák egészeire is fennáll pl. a *rendezettség növekedésének folyamata* is, de az entrópiánövekedés jelenleg csak környezetétől elszigetelt rendszerekre nyert konkrét alkalmazást.

Csak érintőlegesen utalok további példaként a stabilitás-labilitás problémájához kapcsolódó ún. egyensúlyproblémákra. Ma különösen gyakran hallhatjuk azt a megfogalmazást, hogy pl. „a környezeti egyensúly felborul”, de hol van egzaktnál lefektetve, hogy mi is a környezeti egyensúly és használható-e ez a kifejezés így? Mert az biztos, hogy a természetben található rendszerek lehetnek — durva zavarás és beavatkozás nélkül — viszonylag tartósan stabilak (lassú változásúak), de ez a fogalom *más dimenziójú* itt, mint a fizikában használt egyensúlyban levés értelmezése.

A *második vonal*, ahol a két tudományterület szorosabban léphet előre a jövőbeni környezetvédelmünk és környezettervezésünk érdekében, abból a tényből indul ki, hogy a fizikai ismeretekkel kifejlesztett *műszerek vonalán igen nagy az egymásrautaltságunk*. Azonban itt is minőségileg más szemléletű igény jelentkezik napjainkban, amikor a méréseket az egyedfeletti biológiai szintben kívánjuk elvégezni. Az egyik leglényegesebb igény, hogy a fizikai és kémiai mérések általában statikusak és megismételhetők ugyanazon az anyagon, de az ökológiai folyamatmérések nem reprodukálhatóak, mert közben a mért objektum állandóan változik.

Példaként említtem — kiragadva — hogy ha mi pl. egy erdő levélzetének éves klorofilltartalom-változását akarjuk végigkísérni (de mondhatnám az energiaáramlást, vagy a tápanyagcirkulációt is), eddig különböző időpontokban begyűjtött leveleket elemezzük meg kémiai módszerekkel, laborokban. De az időbeni ismétlésekkor már sohasem az előző mintaleveleket elemezhetjük, mert azt mérés közben elpusztítottuk.

Úgy vélem, az elektronspektroszkópia, tömegspektroszkópia, infravörös-spektroszkópia vagy a röntgenfluoreszcens-spektroszkópia azok a részei a fizikának, ahol jól együtt lehetne dolgozni. Ezenkívül azonban az ökológiai kutatásoknak szüksége lenne olyan készülékek kifejlesztésére is, amelyekkel az *in vivo* és *in naturo* folyamatok mérhetőek. A műszer-fizika nagy segítséget adott eddig is — és ezt nem hallgathatjuk el — pl. a kismennyiségű elem-meghatározások vonalán, de az előzőekben említett kívánalmaknak ezek sem tettek eleget.

A nemzetközi szakirodalomban kb. 10 éve jelentek meg az első — ökoszisztémákban történt — *izotópos* vizsgálati eredmények. Céljuk az energia-, ill. az energiát tároló anyagok áramlási irányaira és sebességére irányult. Itt is az történt azonban, hogy az aktivizált elemek méréséhez laboratóriumokba vitték be a mérendő egyedet, vagy részeit és ezzel egyidejűleg életfolyamataikat is megszüntették. Csak a legújabb időkben kezdenek

indulni azok a kísérletek, hogy a működő ökoszisztémán belül, erre a célra kifejlesztett, *terepre vihető* szcintillációs számlálók segítségével és *gyenge*, ill. viszonylag *gyorsan bomló* izotópok detektálásával próbálják az anyag és energiautak időbeni alakulását nyomonkövetni. Ezek a kezdeti lépések természetesen még mindig csak részfolyamatok megismerésére irányulnak, az ökoszisztéma input és output anyagútjainak és a belső kapcsolódásoknak komplex, összefüggő megismerésétől még nagyon távol állunk. De ez biztató kapcsolódásnak látszik!

Anélkül, hogy e kérdésekbe itt most részletesebben elmélyednék, csak mégegyszer aláhúzom, hogy *a fizika óriási segítséget nyújthat a célorientált műszerfejlesztés terén az ökológiai kutatásoknak*. Olyan alap-problémák lennének megoldhatóak ilyen módon, mint pl. a termelő-fogyasztó és lebontó láncok interakcióinak, a produkció hatásfokának (az efficienciának) jobb megismerése, továbbá az energiaáramlási utak és az elemcirkulációs menetek törvényszerűségeinek tisztázása, vagy pl. a rendszeren belüli kompetíció és a dinamikus kiegyensúlyozódottság meglétének, ill. hiányának okai, természetes és szabályozott közösségekben. *Csak ezek a tudományos megismerések adhatják meg a gyakorlati környezetvédelmi és környezettervezési intézkedéseink biztos és tartós megalapozottságát*. Az idő sürget! Tenni kell az ökológiai gondolkodás széleskörű elsajátítása és az együttműködés érdekében.

VEGYI KÖRNYEZETVÉDELEM (KORREFERÁTUM)

Korányi György

Budapesti Műszaki Egyetem

A Kémiai Tudományok Osztályán belül a Műszaki Kémiai Bizottság csaknem 10 éve foglalkozik a kémiai környezetvédelemmel és ebből a célból megalakította a Kémiai Technológiai és Vegyi Környezetvédelmi Munkabizottságot. Az elmúlt időszak alatt a Munkabizottság az alábbi problémaköröket dolgozta fel:

- A vegyi környezetvédelem fogalmkörének tisztázása és a működési terület pontosítása.
- A vegyi környezetvédelmet elősegítő alapkutatások számbavétele, a folyó kutatások koordinálása és a kutatásokat igénylő témák felmérése.
- Néhány fontosabb eljárás tudományos alapjainak tisztázása, melyek a környezet szennyezőktől való megtisztításának hatásfokát növelhetik.
- A viszonylag legszennyezettebb hazai régiókban működő intézmények és vállalatok tevékenységéről szóló jelentések megvitatása a környezetvédelmi kutatások és alkalmazott technológiák szempontjából.

A mint a felsorolásból is kitűnik, a Munkabizottság tevékenysége elsősorban a környezetvédelmi kutatásokra és technológiai eljárásokra helyezte a hangsúlyt, ami azonban nem jelenti azt, hogy a vizsgálati eljárásokkal, ezen belül pedig a

fizikai jellegű vizsgálati eljárásokkal a Kémiai Tudományok Osztálya egyéb bizottságai nem foglalkoztak.

Különösen szeretném kiemelni a Kémiai Analitikai Bizottság munkáját, amelynek során számos fizikai és kémiai vizsgálati eljárás megvitatására, továbbfejlesztésére került sor és csaknem minden esetben a módszerek környezetvédelmi jelentősége is előtérbe került. A legkiemelkedőbb eredményekről egyébként Pungor akadémikus korreferátuma emlékezik meg.

A Biomérnöki Bizottság is foglalkozott környezetvédelmi kérdésekkel, főként a mezőgazdaságban keletkező szennyvizek tisztítási problémáival, melyekről az ülésen Holló akadémikus és munkatársai számolnak be. A Radiokémiai Bizottságban a dozimetriai és radiofizikai vizsgálati eljárások szinte valamennyi összejövetelen a napirend tárgyat képezik és a legfontosabb eredményekről ülésünkön ugyancsak elhangzanak előadások. Ha nem is rendszeresen, de az Osztály többi bizottságai és a vizsgált témák környezetvédelmi problémáira kitérve napirendjükön tartják a vizsgálati eljárások ilyen irányú alkalmazását.

Amint az tudományos ülésünk programján szereplő előadások címéből kitűnik, a kémiai és a fizikai vizsgálati eljárások közötti merev határ-