

## PRIGOGINE

### A kozmosz, a komplexitás és a kultúra kölcsönhatása

#### Egy másmilyen világ

Egy másmilyen világban éltünk, de ez a világ valahogy megváltozott. Nem történelmi változásokról van szó; nem politikai vagy gazdasági, kulturális vagy intellektuális eltérésekről. Úgy tűnik, hogy ezek valóságos fizikai változások. Lehetséges lenne? Lehetséges, hogy a világ, amelyen az univerzumot értjük, fizikailag megváltozott? Kr. u. a II. századtól kezdve Ptolemaiosz, Kopernikusz, Tycho Brahe, Kepler és Galilei felfedezései tényleg fokozatosan megváltoztatták az ókori világnézetet, amely az univerzumot végesnek és a Naprendszer geocentrikusnak tekintette. Ezek a világot szó szerint megváltoztató felfedezések a teleszkóp feltalálásában, illetve végül a Naprendszer geocentrikus felfogásának megdöntésében kulmináltak, abban a nézetben, hogy a Nap helyezkedik el a középpontban. Ezáltal lehetőség adódott egy új tudomány létrejöttére. Ez az új tudomány többé nem az érzékeknek és a geometriának tulajdonított egyértelműsége támaszkodott, sokkal inkább egy rigorózusabb matematikai eszközt igényelt, a kalkulus, hogy tökéletesíthesse a percepció jóval pontosabb technológiai eszközét, a teleszkópot. Isaac Newton mozgástörvényei, melyeket kiegészített a gravitáció univerzális

törvénye, és a kalkulus, amely egyidejűleg Newton és a filozófus Gottfried Leibniz felfedezése, új univerzumot hoztak létre, egy potenciálisan végtelen univerzumot, melyben a Nap helyezkedik a bolygórendszerünk középpontjában. Ez egy gépszerű, kiszámítható univerzum volt, melynek bolygói és csillagai az ismert belső erők következtében mozognak, Isten éber tekintetére való szükség nélkül (DeWitt 2004: 183–184).

Az *Exploring Complexity: An Introduction* című kötetben a társszerzők, Grégoire Nicolis és Ilya Prigogine elismerik, hogy Newton után, amit „klasszikus tudománynak” neveztek, az a csúcspontjára ért (Nicolis–Prigogine 1989: 2).<sup>1</sup> Úgy hitték, hogy az univerzum alapvető törvényeit egyszer s mindenkorra felfedezték, hogy léteznek determinisztikus és reverzibilis törvények, és minden folyamat, amely nem engedelmeskedik ennek a rendnek, kivételnek számít, mely a tudatlanságból származik, különös tekintettel a változókra. Továbbá vitathatatlannak számított, hogy a tudományos kutató kívül áll a vizsgált rendszeren (Nicolis–Prigogine 1989: 3). Viszont Newton óta ez a világnézet valóban megváltozott. Annak ellenére, hogy a newtoni univerzum még mindig sok fizikai jelenség magyarázatául szolgál, úgy tűnik, hogy feltűnt egy determinisztikus, ugyanakkor irreverzibilis törvényekből álló új univerzum, hogy kitöltse az értelmezésben és a megértésben levő számos hézagot. Először a régi klasszikus, determinisztikus és irreverzibilis univerzum jellemvonásait tisztázzuk, mielőtt továbbhaladnánk az új világ felé.

#### Irreverzibilitás és determinizmus

A lentiekben terjedelmesen tárgyaljuk a determinizmust, de szükséges és hasznos figyelembe vennünk az irreverzibilitást, ezért vele kezdenénk. Az irreverzibilis folyamatok függetlenek az idő irányától. Abban a kontextusban válnak nyilvánvalóvá, amelybe beletartoznak a mozgás törvényei és a differenciális kalkulus használata, ami az olyan pilla-

<sup>1</sup> Grégoire Nicolis az elméleti fizikai kémia professzora volt, Ilya Prigogine pedig, mint ismeretes, kémiai Nobel-díjas.

natnyi változásokat – mennyiségük szerint – leíró eszköz, mint az elhelyezkedés, a sebesség és a gyorsulás. Galilei óta a fizika központi kérdésének számított, hogy egyenletesen mozgó testek esetében hogyan írhatjuk le a test állapotát egy adott pillanatban, és a lövedék vagy a zuhanó test példájánál miként szemléltethető a nyugalmi állapotba való átmenet, és a mozgásból a nyugalmi állapotba történő váltás (Prigogine–Stengers 1984: 57). A matematikai dinamika mennyiségeket mér, így kezdetnek felbontja a változó mozgást, végtelen sorozatokat alkot belőle, melyek végtelenül kis változásokból állnak (infinitesimalisnak nevezik őket), s ezek közül bármelyik mérhetővé válik (Prigogine–Stengers 1984: 58). A klasszikus fizika a rendszert alkotó testek pillanatnyi gyorsulására irányítja a figyelmet. „Általánosan szólva, maga a gyorsulás az idővel módosul, és a fizika feladata, hogy pontosan megállapítsa ennek a módosulásnak a természetét” (Prigogine–Stengers 1984: 58).

Azonban a testek nem gyorsulnak vákuumban; az erők minden ponton hatnak, és az erő mindig arányos az erő által létrehozott gyorsulással. Ez Newton második mozgástörvénye ( $F = ma$ ) (Prigogine–Stengers 1984: 58). A differenciálegyenletek meghatározzák a rendszert alkotó testek mindegyikét, az elhelyezkedés, a sebesség és a gyorsulás által, és a trajektória kiszámítása lehetővé teszi a dinamikai rendszer teljes leírását. Ez egy konceptuális matematikai sokaságban megy végbe, melyet *állapottér*nek nevezünk, benne minden dimenzió megegyezik a rendszer egyik változójával, és a rendszer kijelöl egy utat a trajektóriának nevezett térben (Kellert 1993: 7–8). Az erő a gravitációra utal, és a gravitáció azonos módon vonatkozik az atomokra és az óriás testekre (mint amilyenek a bolygók), mivel minden testnek van tömege, valamint távolságának és gyorsulásának függvényében kölcsönhatásba kerül más testekkel (Prigogine–Stengers 1984: 58–59).

A differenciálegyenletek lehetővé teszik a fizikusok számára a trajektóriák kiszámítását, melyekre a „*törvényesség, a determinizmus és a reverzibilitás*” jellemző (Prigogine–Sten-

gers 1984: 60). A kezdeti elhelyezkedésből vagy állapotból kiindulva, a törvények szerint végbemenő mozgás lehetővé teszi a dedukciót, a kezdeti állapottól kezdve az állapotok teljes sorozatáig, melyen a rendszer keresztül fog haladni. Bárhol kezdhetjük, bármely állapottal, és a rendszer teljes jövőjét és múltját dedukálhatjuk (Prigogine–Stengers 1984: 60). Ez az, ami reverzibilissé teszi a rendszert. „Ha a rendszerben minden test megfordul, a rendszer ... visszatér minden állapotba, amelyen keresztülhaladt az előző változás során”, pontosan helyreállítván az eredeti körülményeket (Prigogine–Stengers 1984: 61). Persze úgy tűnik, hogy a reverzibilitás szembe megy az intuícióval, de megállja a helyét a dinamika idealizált világában.

Ugyanakkor valóban ebben az ideális világban élünk? Nicolis és Prigogine elkötelezték magukat azon nézet mellett, miszerint a világ megváltozott, és mi most egy plurális világban élünk, mely egyszerre foglalja magába a determinisztikus és a sztochasztikus (valószínűségeen alapuló), a reverzibilis és az irreverzibilis jelenségeket (Nicolis–Prigogine 1989: 2). Amellett érvelnek, hogy ezeknek a jelenségeknek a relatív fontosságuk változott meg. A klasszikus tudomány azt állította, és sok esetben továbbra is fenntartja, hogy a világegyetem alapvető törvényei determinisztikusak és irreverzibilisek. Ez a megközelítés, miszerint passzív és mechanikus erők irányítanak, szükségszerűen szinte teljes mértékben kizárja, irrelevánsnak tekinti a váratlan eseményeket és a felfedezéseket (Nicolis–Prigogine 1989: 3). Úgy is fogalmazhatunk, hogy a klasszikus tudomány az alapvető struktúrát keresi, amely *minden* fizikai rendszer irányítója. De ennek megértéséhez világosan meg kell határoznunk, hogy mit értünk „determinisztikus” alatt, ami egy olyan terminus, mely a tudósok és a filozófusok körében egyaránt sokszor fejtörést okoz.

A filozófus Karl Popper a determinizmus tudományos elgondolását egy olyan filmhez hasonlítja, melynek a producere a megalkotója, akinek számára „a filmnek azok a részei alkotják a múltat, amelyek már lejátszódtak. Valamint amelyeket még nem láttuk, azok formál-

ják a jövőt”<sup>2</sup> (Popper 1982: 5). A fizikus és filozófus Gaston Bachelard azzal érvelt, hogy van egy általános érzés, miszerint a fundamentális rend létezik, „egy érzés, mely intellektuális nyugalomról tanúskodik, a matematikai analízis sajátjának tekinthető szimmetriából és bizonyosságból fakad” (Bachelard 1984: 102).<sup>3</sup> Ezt azzal magyarázhatjuk Bachelard kijelentése nyomán, hogy a világ matematikai koncepciója egyszerű formákból, egyszerű geometriákból keletkezik, és a belőle következő determinizmusból, annak ellenére, hogy léteznek deformációk és perturbációk, melyekkel csak mesterkélt, korrekív tényezőként számolnak (Bachelard 1984: 102–103).

A determinizmusra adható legtömörebb magyarázat talán az elgondolás, hogy ha a dolgok nem tudnak egyebek lenni, mint amik, akkor az univerzum jelenlegi totális állapotának, kiegészítve az uralkodó fizikai törvények teljes összességével, adekvát magyarázatot kell nyújtania az univerzum minden eseményét illetően. Ráadásul, amennyiben az előrejelzés a szükséges feltétele, hogy megérthessük az univerzumot, akkor a determinizmusba beleértendő, hogy minden esemény levezethető a kiinduló állapotból és a fizikai törvényekből (Kellert 1993: 54–55). Úgy tűnik, a determinizmus kizárja az isteni beavatkozást (az első vagy végső okot), amiként egyúttal látszólagos ellentétét, a merő akcidentális történéseket is (Earman 1986: 23).<sup>4</sup>

A tudományfilozófus Stephen H. Kellert, az általános vélekedést idézve, miszerint az univerzum mint egész valamifajta rendszer, a determinizmus különböző értelmezéseinek négy rétegét különíti el. Az első réteg alapján a determinisztikus rendszerben a jövő a jelentől függ *matematikailag meghatározható* módon, a differenciálegyenletek valamely halmaza szerint (Kellert 1993: 56).<sup>5</sup> A differenciálegyenletek azok a szabályok, ahogy a fentiekben láttuk, melyek az ún. dinamikai rendszer változó állapotát irányítják, melyben a változók akadálytalanul vagy folyamatos módon vál-

toznak (Kellert 1993: 2). Továbbá e szinten nem lesznek valószínűségek, sem sztochasztikus folyamatok, így bármelyik komplex magatartás a rendszer belső matematikai struktúrájából ered, és maguk a differenciálegyenletek nem tesznek lehetővé szétágazást, választásokat vagy valószínűségeket (Kellert 1993: 58). Azon alapelve működik itt, miszerint a rendszer képes előre látni a jövőt oly módon, hogy azt matematikai szabályok alapján a múltra vagy a jelenre vonatkoztatja.

A determinizmusnak egy még inkább mélyreható elgondolása szerint (amire néha a „laplace-i” kifejezést használják, a matematikus-csillagász Pierre-Simon Laplace nyomán) a rendszernek a teljes és azonnali leírása *alternatívák nélkül* rögzíti a múltat és a jövőt: tehát az egész univerzum determinisztikus, nem pedig csupán valamely konkrét dinamikai rendszer (Kellert 1993: 59). A harmadik réteg előírja, hogy a fizikai mennyiségek egzakt értékkel rendelkeznek. Végül a negyedik réteg azt szabja meg, hogy az egész univerzum előrelátható, nem csak az egyedi dinamikai rendszerek. Érdekes módon ez akár egy omnipotens intelligencia vagy egy mindenható számítástechnikai séma révén is megtörténhet, viszont mindkét esetben zárt fizikai rendszert igényel. A determinizmus definíciói közül vélhetően ez az, amelyre Prigogine és Isabelle Stengers gondolnak, ugyanakkor meg is kérdőjelezzik a közösen írt, *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature* című könyvükben (Kellert 1993: 60–61; Prigogine–Stengers 1984: 12). Azt állítják, hogy ez egy bukásra ítélt nézet, mert a determinisztikus trajektóriák valójában „megfigyelhetetlen idealizációknak bizonyulnak az elégséges mértékben instabil rendszerek szempontjából” (Kellert 1993: 64).

Azzal érveltek közösen, hogy „a klasszikus nézet szerint a természet alapvető folyamatai determinisztikusnak és reverzibilisnek számítottak... Ma mindenfelé az irreverzibilis folyamatoknak, a fluktuációknak a szerepét látjuk” (Prigogine–Stengers 1984: xxvii). Prigogine és Stengers új fogalmakkal jellemzik ezt a világot, nyitottként, komplexként, valószínűsíthetőként és temporálisan visszafor-

2 Idézi Kellert (Kellert 1993: 52).

3 Idézi Kellert (Kellert 1993: 53).

4 Idézi Kellert (Kellert 1993: 55).

5 Diszkrét időegységek esetében ezeket a differenciálegyenleteket úgy ismernénk, mint leképezéseket (2).

díthatatlanként. Tehát az *Order out of Chaos* a tudomány konceptuális átalakulásával való számvetés, a klasszikus tudománytól kezdve a jelenig, különös tekintettel arra a változásra, amely a makroszkopikus mértékre nézve, az atomok, a molekulák és a biomolekulák területén végbement, kiemelt figyelmet fordítva az idő problémájára, mely annak belátásából ered, hogy az anyag újszerű dinamikai állapotai a termikus káoszról eredhetnek, amelyek során a rendszer kölcsönhatásba kerül a környezetével. Ezeket az új struktúrákat *disszipatív* struktúráknak nevezték el, hogy jelezzék, a disszipáció ténylegesen meghatározó szerepet játszhat új állapotok kialakításában (Prigogine–Stengers 1984: 12).<sup>6</sup>

Az idő visszafordíthatatlanságából kiindulva Prigogine és Stengers a klasszikus dinamika statikus nézetétől a nem-egyensúlyi termodinamikával együtt kialakult evolucionista nézet felé vezet bennünket. Ugyanakkor „tágabban nézve ennek a könyvnek egyik fő témája a kultúra mint egész sajátjának tekinthető dolgok, illetve különösen a tudományon belül felmerülő fogalmi problémák kölcsönhatása” (Prigogine–Stengers 1984: 19).<sup>7</sup> Tehát szerintük a klasszikusról a kortárs megközelítésre való átpártolás megnyilvánul a természettudományok és a társadalomtudományok, illetve a humán tudományok közötti konfliktusban is. Ha a tudomány fejlődését úgy értelmezzük, mint a konkrét tapasztalatról az absztrakcióra való áttérést, ezt a szerzők vélekedése nyomán a klasszikus tudomány korlátaival magyarázhatjuk, azaz, hogy képtelen volt koherens összeggést adni az ember és a természet kapcsolatáról. Nagyon sok fontos eredményt elnyomtak vagy mellőztek, amennyiben azok nem feleltek meg a klasszikus modellnek. Annak érdekében, hogy felszabadulhasson a természet megértésének hagyományos módjai alól, a

tudomány elszigetelte és a külső behatásoktól megtisztította a gyakorlatait, miközben arra törekedett, hogy mind nagyobb autonómiára tegyen szert, ily módon odáig jutva, hogy önnön tudását univerzálisként fogja fel, és elzárkózzon bármilyen társadalmi kontextus elől (Prigogine–Stengers 1984: 19–22).

A determinizmusról alkotott vélemények közül több meglepszik az előrejelzés (predikció) és a determinizmus megkülönböztetésével, amely gyakran csak kevéssé átlátható, pedig annak kellene lennie. Azt állították, hogy a világegyetem bármely pillanatában, bármely helyzetében a múltbeli és a jövőbeli állapotainak is rögzítettnek kell lenniük. Hogy képesek vagyunk-e pontosan megmérni és kiszámolni, vagy sem, az egy másik kérdés. Más szóval, különbséget tehetünk a ténylegesen fennálló világ, és az általunk ismert világ között; tehát létezik determinizmus, de ezzel együtt előreláthatatlanság is (Kellert 1993: 63–64). Ezzel szemben Prigogine és Stengers úgy vélik, hogy a determinizmus a predikcióval együtt elégtelennek bizonyul, mert a világegyetem rendkívül instabil, lényegében véletlenszerű rendszerekből áll, és a kezdőfeltételekre való érzékenység még a megközelítőleges becsléseket is véglegesen elavulttá, igazolhatatlan idealizációkká teszi (Prigogine–Stengers 1984: 71–72).<sup>8</sup> Végül Prigogine és Stengers fellépnek a determinizmus mint afféle konstrukció védelmében, egyúttal felismerve, hogy csak korlátozottan használhatják abban a tudományban, amely őket a leginkább foglalkoztatja: a komplexitás új tudományában (Prigogine–Stengers 1984: 71–72).<sup>9</sup> Még erősebben hatna, ha azt állítanánk, hogy „a determinizmusra bukás vár, mert a legjobb elméleteink (amint ténylegesen alkalmazzuk őket) ellene érvelnek”. Ez kizárná azt a felfogást, miszerint a múlt és a jövő alternatívák nélkül rögzítettek, másrészt a totális előreláthatóság elképzelését (Kellert 1993: 67). Olyan megoldást kínálna, melyre a későbbiekben visszatérünk, de először hadd mutassuk be Prigogine változatát még részletesebben.

6 Az egyensúlyi termodinamika az energia transzformációját tanulmányozza, és a termodinamikai törvények felismerik, hogy bár „az energia konzerválódik”, „amikor az energiát úgy határozzuk meg, hogy az a munkára való kapacitás”, mindazonáltal a természet fundamentálisan aszimmetrikus; ami annyit jelent, hogy noha az energia mennyisége változatlan marad, az eloszlása az irreverzibilitás alapján rendeződik át. Lásd: Atkins 1984: 8–13.

7 Az idézett könyv francia címe, egy korábbi és gyengébb minőségű verzióban, a tudomány és a kultúra közötti „új szövetségre” utal.

8 Idézi Kellert (Kellert 1993: 64).

9 Idézi Kellert (Kellert 1993: 66).

## Káosz és komplexitás

Felmerülhet a kérdés, hogy olyan tudósok, mint Prigogine, miért jutottak arra a következtetésre, hogy a determinizmus szűk látókörrrel bír, s a predikció igénye még inkább. Nagy valószínűséggel ez annak az eredménye, amit egyesek *káoszelméletnek* neveznek, valamint a hozzá társuló *komplexitás*-fogalomnak. A káoszelméletről megírták már, hogy nem olyan érdekes, mint amilyennek hangzik (Kellert 1993: ix). „A káosz magába foglal egy determinisztikus mechanizmust, amely a véletlenszerűség *megjelenését* generálja; egy valódi véletlenszerűségnek nincs ehhez fogható determinisztikus támasztéka” (Casti 1994: 103).<sup>10</sup> Ha pontosabban akarunk fogalmazni, a káosz úgy határozható meg, hogy a matematikailag egyszerű egyenletek által uralt rendszerek előreláthatatlan viselkedést eredményezhetnek és eredményeznek. Mindazonáltal a káoszelmélet olyan definíciója, mint hogy „*az instabil aperiodikus viselkedésnek a determinisztikus, nemlineáris dinamikus rendszerben való kvalitatív tanulmányozása*”, átfogóbb tisztázást és magyarázatot igényel (Kellert 1993: ix, 2). A kulcsszavak ez esetben az „instabil” és az „aperiodikus”. Az instabilitás a dinamikai rendszernek a kezdőfeltételekre való érzékenysége utal. Ha két vagy több kiinduló állapot érzékelhetetlenül különbözik, e rendszerek akkor is divergálni fognak, jelentősen eltérő állapotokká fejlődhetnek (Kellert 1993: 12).

Az aperiodikus viselkedés egy rendszernek olyan állapota, amikor nincs olyan, őt leíró változó, amelynek értékei szabályszerűen ismétlődnének (véletlenszerűnek tűnő méréseket produkálva ezáltal). Tehát az instabil, aperiodikus viselkedés egyúttal *komplexnek* tekinthető. Nem ismétli önmagát, és továbbra is megnyilvánulnak a kezdeti feltételei által kiváltott hatások (Kellert 1993: 4). Ilyen rendszerként írhatjuk le az egymással ütköző embereket éppúgy, mint az egymással ütköző molekulákat: a pánikba esett tömeg, az országúton tömegkarambolba került

autó, a nyári vihar, a termális konvekció mind idesorolható. Ugyanakkor az instabil és aperiodikus viselkedés *nem* azonos a *molekuláris káosszal*, amely a molekuláknak a teljesen rendezetlen, kiszámíthatatlan viselkedésére utal, mert azok nem képesek felismerni egymást olyan távolságban, mely nagyobb néhány angströmnél (egy centiméter százmilliomod része). Ezzel szemben egy összetett mintájú hópehely, a maga „koordinált aktivitásával, a formájával vagy a dinamikájával”, mint ami egy véletlen találkozás eredménye, egy köbcentiméter víz és egy téli vihar között, valójában épp egy ilyen instabil és aperiodikus viselkedés eredménye (Nicolis–Prigogine 1989: 6). Ahogy azt minden gyerek tudja, nincs két egyforma hópehely.

Van még egy fontos koncepció, amelyre a jelen vizsgálatban ki kell térnünk: a *különös attraktor* koncepciója. Már jeleztük a kezdőfeltételekre mutatott érzékenység fontosságát, a tényt, miszerint egy ilyen jellegzetességgel rendelkező dinamikai rendszer két eltérő kiinduló állapot esetében, melyek érzékelhetetlen mértékben különböznek, jelentősen más megoldásokat fog eredményezni (Kellert 1993: 12). Kiemelendő, hogy amennyiben bármilyen hiba csúszik a kiinduló állapot megfigyelésébe, a jövőbeli állapot predikciója lehetetlenné válik. Ez az úgynevezett pillangóhatás. Az ilyen rendszerekről alkotott képek örvénylő körök elegáns összességét ábrázolják kétszer, melyeknek az elhelyezkedése többé-kevésbé csapkodó pillangószárnyakhoz hasonlít. A kifejezés megalkotója valójában James Gleick, aki egy írásában felvetette a kérdést, hogy ha egy pillangószárny csapkodása Brazíliában egy olyan trajektóriának a kiinduló érzékeny feltétele, mely magába foglal egy tornádót Texasban, vagyis olyasmit, amit lehetetlen előre látni, a szárnycsapkodás nem a kiváltó oka-e a láncreakciónak (Gleick 1972).<sup>11</sup> Ez utóbbi arra utal, hogy bizonyos *meghatározható* idő után a kezdeti és a végső állapotok *ok-okozatilag nem függnék össze*, olyannyira, hogy még az idealizáció sem szolgálhat teljes oksági magyará-

<sup>10</sup> John L. Cast matematikus és a Santa Fe Institute munkatársa.

<sup>11</sup> Idézi Kellert (Kellert 1993: 13).

zattal. Ehelyett a statisztikai és strukturális törvények vagy a topológiához hasonló geometriai mechanizmusok (olyan tulajdonságok matematikai tanulmányozása, melyek objektumok deformációi, kifordítása és kiterjesztése révén őrződnek meg) sokkal relevánssabbnak számítanak a szóban forgó viselkedés megértésében (Kellert 1993: 105–106).<sup>12</sup>

Az említett rendkívüli érzékenység következtében lehetetlen egzakt módon előre látni a trajektóriákat, más módszerekre lenne szükség. Amikor számítógépet használtak, hogy a rendszer instabil, periodikus mozgásának trajektóriáját feltérképezzék, az egy új geometrikus objektum képét hozta létre: ez a különös attraktor (Kellert 1993: 13).<sup>13</sup> Beláták, hogy a trajektóriák a fix pontú – jól meghatározott végponttal rendelkező – attraktorok, a határciklusú – periodikus keringési pályát képező – attraktorok és a tórusz attraktorok (úgy ábrázolhatók, mint egy kváziperiodikus vonal, mely spirálisan mozog egy fánk körül, anélkül, hogy valaha pontosan önmagába körözne vissza) körül konvergálnak. Az egymás felé közelítő trajektóriák minden attraktorra jellemzők, de egyes trajektóriák felettébb érzékenyen függenek a kiinduló feltételektől. Azok a trajektóriák, amelyek kezdetben egymáshoz rendkívül közel helyezkednek el, rohamosan divergálnak, a nyújtás és a hajtogatás révén, valahogy úgy, ahogy a sós vizes karamellanyújtó gép szétteríti, kinyújtja, majd összehajtja a karamellát, így a kezdetben egymás mellé helyezett két darab cukorka végül valóban távolra kerül egymástól (Casti 1994: 91–92).<sup>14</sup> A nyúlás messzire sodorja őket, a hajtogatás pedig összehozza a pontokat, amelyek távol voltak egymástól, így aztán konvergálhatnak.

A Lorenz-attraktor (mely a matematikus és meteorológus Edward Lorenzról kapta a nevét) két szárnya megmutatja, hogyan nyúlnak szét és távolodnak egymástól a pontok az ellenkező szárnyba, de ekkor az egyik trajektória, miután túljut a középponton, bele-

hajtódik az ellenkező szárnyba, ily módon „a közeli pontok gyorsan az attraktor másik oldalává alakulnak át, a trajektóriák mégis a fázistér különleges formával bíró régiójává szűkülnek” (Kellert 1993: 14–15). Ezeket a formákat fraktáloknak nevezzük. A dimenziójuk fraktális és nem integrális. Az integrálható rendszereket úgy ábrázolhatjuk, mint független egységek összességét, kölcsönhatások nélkül, így mindegyikük elszigetelten változik a többihez képest, mint az égitestek Arisztotelész filozófiájában vagy a monások Leibniz gondolkodásában (Prigogine–Stengers 1984: 71–72). A fraktáldimenziók úgy számszerűsítik a komplexitást, hogy a változás arányát részleteiben viszonyítják a lépték változásához (Mandelbrot 1983).

A szóban forgó *káoszól fakadó rendet* úgy jellemezhetjük, hogy a dinamikai káosz differenciálegyenletek révén szemléltethető determinisztikus rendszer marad (abban az esetben is, ha feltűnik egy különös attraktor). Ebből kifolyólag a mozgás instabilitását és a viselkedés véletlenszerűségét, melyek a kezdőfeltételekre mutatott érzékenységgel egy időben keletkeznek, jellemezhetjük olyan módszerek használatával, mint Lyapunov exponensei, melyekkel kiszámíthatók a kezdetben szomszédos trajektóriák, amelyek aztán az idő során exponenciálisan elkülönülnek egymástól (Kellert 1993: 19; Nicolis–Prigogine 1989: 254–255). Egy fontos és szükséges faktor, amely a determinisztikus káoszban közrejátszik, az, hogy az általunk tárgyalt rendszerek mind *disszipatívok*. A továbbiakban a disszipáció kérdése felé fordulunk, hogy tisztázzuk a jelentését.

## Disszipatív rendszerek

Nicolis és Prigogine először a fenntartó (konzervatív) rendszerek vonatkozásában tárgyalták a disszipatív rendszereket. A klasszikus mechanika továbbfejlesztette és elterjesztette az ősi elképzelést, miszerint az univerzum olyan változatlan őselemeket tartalmaz, mint a víz (Nicolis–Prigogine 1989: 46). Newton mozgástörvényei, a kalkullussal egyetemben, amelynek felfedezése Newton és Gottfried

<sup>12</sup> Kellert idézi továbbá Robert Shaw brilliáns munkáját (Shaw 1984: 220).

<sup>13</sup> A topológiákról lásd: <http://mathworld.wolfram.com/Topology.html>

<sup>14</sup> Ezt egy német vegyész, Otto RöSSLer fedezte fel az 1970-es évek közepén, amikor észrevett egy karamellanyújtó gépet a kirakatban.

Leibniz nevéhez fűződik, alapvető feladatot töltenek be a mennyiségi kalkulációkban. Segítségükkel magyarázhatjuk meg az égitesteknek, valamint azoknak a testeknek a mozgását, melyek alá vannak vetve a szárazföldi gravitációnak (Nicolis–Prigogine 1989: 46). A fentiekben megjegyeztem, hogy a klasszikus rendszerekben a trajektóriák alapvető jellegzetességei a törvényesség, a determinizmus és a visszafordíthatóság. A törvényesség azokra a mozgástörvényekre utal, melyeknek sajátosságai a tehetetlenség, az erő és a gyorsulás, az akció és a reakció. A determinizmus azt jelenti, hogy „minden adott”, mert minden egyes állapot alkalmas arra, hogy meghatározza a teljes rendszert, a múltat és a jövőt (Prigogine–Stengers 1984: 60). A visszafordíthatóság pedig az ok és az okozat egyenlőségére utal, amennyiben egyidejűségük fennáll egy absztrakt térben; tehát, ha a rendszer minden pontjának megfordítjuk a sebességi irányát, a rendszer meg fogja ismételni a lépéseit, s visszaáll az eredeti állapot (Prigogine–Stengers 1984: 60–61). A lengő inga, mely zárt görbét alkot, és ezzel együtt energia konzerválódik, ezeknek az elveknek a jól ismert ábrázolása (Nicolis–Prigogine 1989: 49).

Ezt a rendszert most már szembeállíthatjuk a disszipatív rendszerrel, amely lehetővé teszi a visszafordíthatatlan folyamatokat. A tehetetlenség klasszikus alapelve – miszerint a mozgásban levő test mozgásban marad – figyelmen kívül hagyja a sűrűlódás létezését, mert feltételezi az energia konzervációját és a mozgás transzferét egyik testről a másikra (Prigogine–Stengers 1984: 112). Ilyen nézőpontból tekintve a disszipáció jelentése kimerül abban, hogy a rendelkezésre álló energia elhasználódik és kimerül, aminek nem kéne megtörténnie (Nicolis–Prigogine 1989: 50). Nicolas Léonard Sadi Carnot 1824-ben fedezte fel a termodinamika második törvényét. Közben a leghatékonyabb hőerőgép megalkotásán dolgozott, de nem sikerült megalkotnia egészen 1840-ig, amikor Rudolf Clausius rájött, hogy kell legyen mód a szénégető hőerőgépben a motor fűtésére, mely a hőt munkává átalakító folyamat során a lehetséges veszteségért való kompenzálásként

szolgálna. Ezáltal nagy figyelmet kapott a veszteségek elgondolása, továbbá 1852-ben William Thompson megfogalmazta a második termodinamikai törvényt, amely kifejezte „a mechanikus energia degradációjának egyetemes tendenciáját” (Prigogine–Stengers 1984: 114–115). Mint egyetemes tendencia, ez a törvény tisztán kifejezi a visszafordíthatatlanság alapelvét, miszerint a hőnek veszteséget és disszipációt követelő, mozgássá való átalakítása az *entrópiának* nevezett termális egyensúlyállapot felé hajlik, ami az a disszipált energia, amely visszafordíthatatlanul elveszett (Prigogine–Stengers 1984: 115–116, 117).<sup>15</sup>

Egy elszigetelt rendszerben, a külvilággal való kapcsolattartás hiányában, az entrópia vagy növekszik, vagy állandó marad, s ezzel a visszafordíthatatlanságról, az idő nyíláról tanúskodik (Prigogine–Stengers 1984: 119). Az irreverzibilis folyamatok irányítatlan változásokat mutathatnak a hőmérsékletet, a térfogatot és a nyomást illetően, ami hőmérsékletcsökkenéshez és sűrűlódáshoz, így az entrópia növekedéséhez vezethet (Prigogine–Stengers 1984: 120). Az ideális rendszerek megfordíthatók, és az ilyen fajta ideális *termodinamikai objektumok* a határfeltételeik révén kontrollálhatók. Azonban úgy tűnik, hogy a termodinamikai objektumok a természetben elszigetelten vannak jelen, mivel csak bizonyos állapotok felelnek meg nekik. A rendszer előnyben részesít némely, őt vonzó attraktorokat, amelyek visszafordíthatatlanul az entrópiánövekedés felé mozdítják el (Prigogine–Stengers 1984: 121). Mindamellett a termodinamikai objektumok módosulása, mely a külvilággal való kapcsolattartás során bekövetkezik, néha eltávolodik ettől a mintától, mert például a hó és az átalakíthatóság függetlenek attól, ahogy a rendszer eredetileg felépült. Ez utóbbi alapvetőnek számít a termodinamikai rendszerek esetében, melyek komplexek és a  $6.1023$  (az Avogadroszám, vagyis az atomok száma egy hidrogénben) részecskék magnitúdójának rendjéhez tartoznak (Prigogine–Stengers 1984: 121).

<sup>15</sup> Az entrópiát az „S” jelöli.

Egyensúlyállapotban levő rendszerek esetében az entrópia teljesítménye, a fluktuációk és a rendszert befolyásoló erők nullán állnak. Az egyensúlyállapothoz közeli rendszerek esetében a termodinamikusan erők nullánál magasabbak, de gyengék. Mindkét rendszer stabil és lineáris marad, miközben térbeli és időbeli kontinuitást mutat. „A lineáris és a nemlineáris törvények közötti különbség abban nyilvánul meg, hogy a szuperpozíció tulajdonsága fennmarad-e vagy megszűnik. Egy lineáris rendszerben két különböző ok kombinált akciójának végső hatása csupán ezen okok által individuális módon kiváltott hatásoknak a szuperpozíciója” (Nicolis–Prigogine 1989: 59). Ezzel szemben „ha egy nemlineáris rendszerben egy kis okot hozzáadunk egy már meglévőhöz, dramatikus hatást idézhet elő, melynek nincs közös nevezője az ok amplitúdójával” (Nicolis–Prigogine 1989: 59). Ha a nonlinearitást az egyensúlyállapottól való megfelelő távolsággal kombináljuk, a rendszer sokrétű eredményeket okozhat, mert egyes fluktuációk megerősödhetnek, és a teljes rendszert minőségi átalakulásra kényszeríthetik. Ezek az egyensúlyállapottól távoli rendszerekben a küszöbértékek átlépéséhez, a fluktuáció instabil viselkedéshez vezetnek (Prigogine–Stengers 1984: 141). Példának okáért a hidrodinamika területén amint az áramlási sebesség eléri a küszöbértékét, a stabil áramlások turbulensekké válhatnak. Lucretius *climamenn*ek nevezte ezt a jelenséget, a spontán, megjósolhatatlan eltérést, amely meghatározza a turbulenciát, s míg makroszkopikus szinten szabálytalanul, addig mikroszkopikus szinten magasan szervezett (Prigogine–Stengers 1984: 141).<sup>16</sup> Erre a *tranzícióra*, a makroszkopikustól a mikroszkopikusig, a kaotikustól a magasan szervezett, koherens viselkedésig, a stabil áramlástól a turbulenciáig, úgy tekinthetünk, mint *önszerveződésre* (Prigogine–Stengers 1984: 141).

Ez a viselkedés a disszipáció gondolatához és a disszipatív szerkezetekhez terel vissza bennünket. A disszipáció közeli kapcsolatra

utal egyrészt valamely struktúra és rend, másrészt a disszipáció avagy veszteség között (Prigogine–Stengers 1984: 143). A klaszikus termodinamika szerint egy elszigetelt rendszerben a hőnek egy hideg tárolóból melegbe való átvitele során bizonyos energia visszafordíthatatlanul elveszik. A rendelkezésre álló energia a súrlódás hatására veszik el – külső energia beáramlása nélkül a rendszer mozdulatlan állapotba kerülne (Kellert 1993: 13). Ludwig Boltzmann fizikus felismerte, hogy a visszafordíthatatlan entrópianövekedés visszatükrözi a molekuláris szinten megfigyelhető rendetlenséget, de azt is jelenti, hogy mikroszkopikus szinten elmozdulás történik a *növekvő valószínűség* állapota felé, úgy, hogy az attraktor állapota a valószínűség maximuma. A valószínűség szerinti magyarázat úttörőnek számított, mivel az előrejelzést is lehetővé teszi (Prigogine–Stengers 1984: 124). Bármi is a kezdőpont, a rendszer a rendetlenség és a szimmetria makroszkopikus állapota felé halad, mely máximalisan lehetséges *mikroszkopikus* állapotoknak felel meg, amelyben ugyanannyi részecske fog az egyik irányba mozogni, mint amennyi a másikba (Prigogine–Stengers 1984: 124–125).

De amikor a rendszer kölcsönhatásba kerül a külvilággal, energiát és anyagot cserél vele, akkor ezekben a nem egyensúlyi állapotokban a disszipatív struktúrák immár nem mutatják az energiaveszteség jellegzetességeit. Egy elszigetelt rendszerben való hőátvitel veszteséghez vezet, de egy nyílt csererendszerben a rend forrása lehet. A disszipatív rendszer egyik modellje a Bénard-cella, melynél egy folyadékréteg található két horizontális párhuzamos lemez között, amelyek dimenziói sokkal nagyobbak a folyadékréteg szélességénél. Egy egyensúlyi rendszerben a folyadék homogén módon terjed szét, mivel minden része azonos, így egy megfigyelő szempontjából a folyadékban lehetetlen megkülönböztetni az egyik pozíciót a másiktól (Nicolis–Prigogine 1989: 9). Mivel nincs váltás, mód sincs az idő kiszámítására, és a pillanatok egymással azonosak (Nicolis–Prigogine 1989: 10).

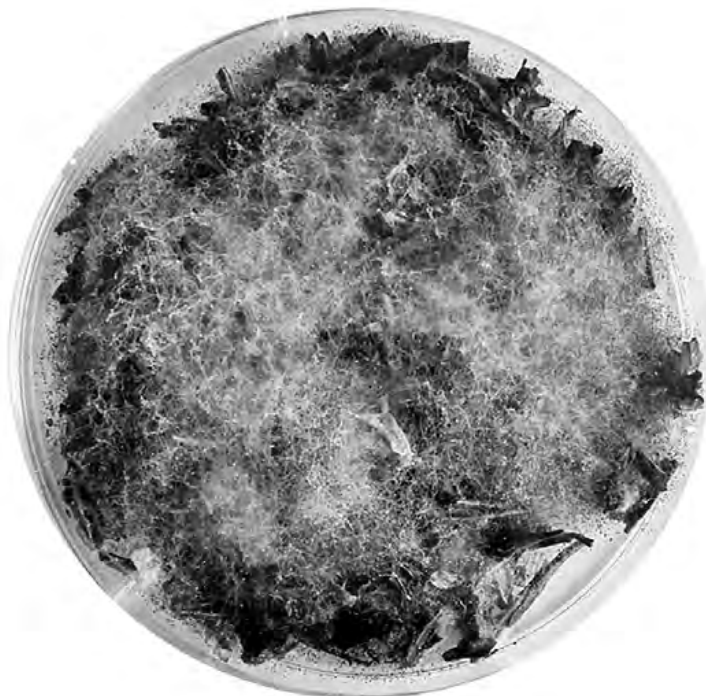


Amennyiben az alsó lemez alatt felmelegítjük a folyadékot, valami figyelemre méltó következik be. A *külső* kényszer – a hő alkalmazása – kezdetben lehetővé teszi a rendszer számára, hogy egyensúlyban maradjon. Habár a hőmérsékletben vagy a hővezetésben bekövetkező növekedés a kritikus ponthoz érve a folyadékot kis konvekciós cellákká, Bénard-cellák sorozatává strukturálja át (Nicolis–Prigogine 1989: 10). A cellák felsorakoznak, a szomszédos cellák egymással ellenkező irányba fordulnak, és maga a folyadék alacsonyabb vagy magasabb sűrűségű, egyúttal alacsonyból magas hőemelkedésű rétegekbe rendeződik, alulról felfelé, ezzel potenciálisan instabillá téve a rendszert, és képes lesz arra, hogy létrehozza a folyadék emelkedő és ereszkedő áramlatait. Egy ilyen rendszer megfigyelője nagyon eltérő tapasztalatokkal bír az egyensúlyban levő rendszert illetően. A különbözőképpen rotálódó cellák lehetővé teszik a megfigyelő számára a helyzetmeghatározást, és horizontálisan haladhat celláról cellára, miközben felbecsülheti a térbeli távolság mértékét.

Az ily módon megtört szimmetria (a homogenitás megtörése) azt jelenti, hogy a teret az határozza meg, ami a rendszerben zajlik (Nicolis–Prigogine 1989: 11–13). „Ez a *korrelációk* létezését sugallja, amelyek statisztikailag rep-

rodukálható viszonyok a rendszer távoli részei között” (Nicolis–Prigogine 1989: 13). Ezek a struktúrák továbbá *szupramolekulárisak*, ami azt jelenti, hogy a paramétereik makroszkopikusak, nem mikroszkopikusak, és ezért számukra időmértékként a pillanatok, a percek vagy az órák szolgálnak (Prigogine–Stengers 1984: 143–144). Ez a komplexitás egyszerre koherens és rendszerezett, valamint a disszipatív rendszer új típusát reprezentálja, olyat, mely a környezetből érkező energiát egy szervezett rendszerbe alakítja át, aminek a jellegzetességei: a szimmetriatörés, a választások és a makroszkopikus szinten megjelenő korrelációk (Nicolis–Prigogine 1989: 15). Prigogine és Stengers figyelmeztetnek rá, hogy a rend és a káosz közötti viszony komplex. Felteszik a kérdést, hogy „a trópusi erdő szervezett vagy kaotikus rendszernek számít? ... Kitartóan úgy érezzük, hogy a trópusi erdőnek mint olyannak az általános mintája, például amikor a fajok diverzitása segítségével ábrázolják, megfelel a rend ősi archetípusának” (Prigogine–Stengers 1984: 169). Úgy tűnik, hogy az ilyen rendszerek a véletlen és a kényszer kölcsönhatását szemléltetik.

Nicolis és Prigogine arra hívják fel a figyelmet, hogy a fluktuáció és a biológiai mutáció, a stabilitás és a biológiai szelekció között fel-



fedezhető hasonlóság alátámasztja, hogy a biológiai evolúció is hat ezekre az elképzelésekre (Nicolis–Prigogine 1989: 73). A biológiában, a pszichokémiai rendszerekhez hasonlóan, erre a komplexitást teremtő kölcsönhatásra a trajektória kettéágazása (bifurkációja) jellemző, ami akkor keletkezik, amikor kritikus értékhez érünk, és az állapotok instabillá válnak, ezért a kis külső perturbációkat nem lehet elnyomni; ezután a rendszer felerősíti és új, tört szimmetriájú rezsimbe helyezi őket (Nicolis–Prigogine 1989: 73–74). A bevitt elemek számától függően a kettéágazás olyasmint hozhat létre, amit a matematikusok *katasztrófának* neveznek. A katasztrófák azon paraméterek értékének felelnek meg, melyek esetében a rendszer viselkedését meghatározó rögzített pont instabillá válik és kettéágazik. Az áthajlás, a csúcs, a fecskefarok és a pillangó olyan háromdimenziós formák, melyek az említett sorrendben megfelelnek egy, két, három vagy négy bevitt elemnek. Azonban a stabilitásban bekövetkező változás egy új stabil, rögzített pont területére vonzza a rendszert, fenntartva a fluktuációk és a stabilitás kölcsönhatását (Casti 1994: 62).

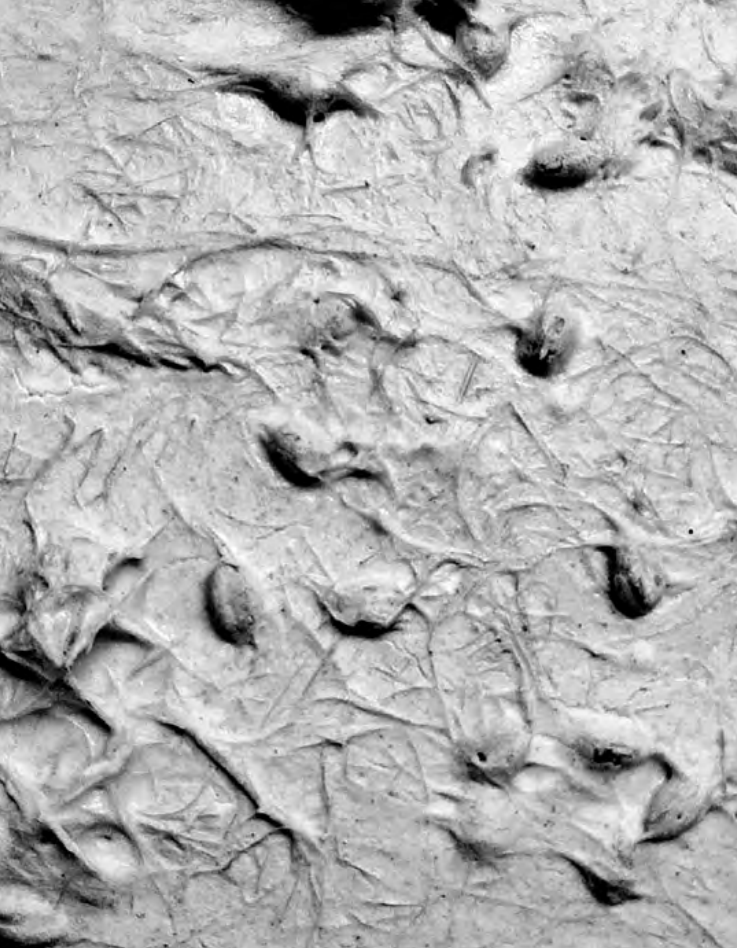
## Káosz és kultúra

Amennyiben létezik rend a természetben vagy az univerzumban, akkor az, Prigogine és Stengers szerint, a visszafordíthatatlanságon alapszik, mely a káoszból teremt rendet. Felhívják a figyelmet arra, hogy míg Albert Einstein szerint a tudománynak minden megfigyelőtől függetlennek kell lennie, szerintük nem lehetséges mérés vagy kísérletezés egy vonatkozó elméleti keret nélkül, amely a megfigyelőhöz köthető (Prigogine–Stengers 1984: 292–293). Einstein odáig jutott, hogy egyoldalúan elutasította Henri Bergson, aki felvetette, hogy egymással párhuzamosan megélt idők sokasága létezik. Einstein szerint ennek legfeljebb fenomenológiai jelentősége lehetne, de semmiképpen sem tekintendő alapvetőnek, mivel a múlt, a jelen és a jövő megkülönböztetése kívül esik a fizika határain, amely azt vallja, hogy az irreverzibilitás valószínűtlen kiinduló feltéte-

lek által keltett illúzió (Prigogine–Stengers 1984: 214, 294).<sup>17</sup> Ahogy Nicolis és Prigogine állítják, Einstein az univerzumot időtlenként igyekezett leírni. Az általános relativitás elmélete arra jutott, hogy kapcsolat van a téridő és az anyag között, úgy, hogy a téridő nem időbeli, hanem pusztán fizikai jelenség. Vagyis a visszafordíthatatlanság legfeljebb a szubjektivitásunk kifejeződése, nincs tudományos jelentősége.

Azonban Prigogine és Stengers szerint az igazi tanulság, amit Einsteintől megtanulhatunk, meglehetősen eltér attól, ami mellett Einstein kitartott, ez pedig a fejlődő univerzum koncepciója. A szóban forgó elgondolás több szálon is összefügg azzal a kérdéssel, hogy mi tekinthető fundamentálisnak. A klasszikus fizika olyan makroszkopikus tárgyakat vizsgált, melyek egyszerűen viselkednek, olyan objektumokat, mint az inga vagy a bolygómozgás (Prigogine–Stengers 1984: 215–216). A newtoni fizika szerint az univerzumban minden test mozgása – az atomké vagy a bolygóké – ugyanannak a törvénynek van alávetve, amelyet aztán egyetemesen, minden szinten alkalmaztak. De mi van akkor, ha a stabilitás és az egyszerűség inkább kivételnek tekintendő, nem pedig az univerzumban általánosan uralkodó szabálynak? A klasszikus homogenitást meghíúsította a „*c*” felfedezése, a fény sebességként ismert konstansé, amely felállított egy korlátot, amelyen túl a megfigyelő nem továbbíthat vagy fogadhat jeleket. Hasonló esetet jelentett a „*h*”, vagyis a Planck-állandó, amely egy skálát határoz meg a tárgyak tömege alapján, és oly módon épül fel, hogy az elektronok a – nehéz és lassú mozgású – makroszkopikus testektől eltérő skálára kerülnek (Prigogine–Stengers 1984: 217). Ráadásul a newtoni modelltől eltérően a relativitás csak a fizikailag lokalizált megfigyelők esetében alkalmazható, akik egy adott időben egy adott helyen vannak, és feltételezik róluk, hogy a megfigyelt világ keretein belül helyezkednek el (Prigogine–Stengers 1984: 218). Mindamellelt fenntartják, hogy csak a

<sup>17</sup> Einstein és Bergson 1922. április 6-án találkozott Párizsban a *Société de Philosophie*-n.



kvantummechanika születése tette lehetővé a fizika számára, hogy eltávolodjon attól az elgondolástól, miszerint az univerzum *immanens* meghatározása a természet teljes leírását szolgáltatathatná. Ez az elgondolás ugyanis csupán a klasszikus elképzelésnek az újabb változatát jelentette, amely szerint a transzcendens megismerő mintegy kívülről figyeli a teljes univerzumot (Prigogine–Stengers 1984: 218).

Fentebb már megemlítettük a nem-egyensúlyi rendszerek és a káosz közötti korrelációt. Ennek bizonyításában áttörést hozott, hogy bevezették az idő olyan koncepcióját, miszerint az az úgynevezett *intrinzikusan véletlenszerű rendszereken* belül található. A belső idő nem mechanikus; a rendszer globális topológiájától függ, illetve Prigogine és Stengers kapcsolatba hozzák az időről alkotott földrajzi elgondolásokkal; tehát a „tér időiesülésére” is utalnak (Prigogine–Stengers 1984: 272). Így például bármely geográfiában találhatunk kölcsönhatásban levő és koegzisztáló időbeli elemeket, melyek egy jól körülhatárolható belső kornak felelnek meg. Analógia alapján a fizikai rendszereket értelmezhetjük úgy, hogy azok belső, ugyanakkor objektív

módon kölcsönösen egymásra ható struktúrákkal rendelkeznek. Miután felhasználták a belső idő „*T*” mértékét egy *pék-leképzés* nevű speciális struktúrában, arra jutottak, hogy a festék, amely eredetileg egy négyzetben belül horizontális csíkokba rendeződött el, végül egységesen zavarossá válik a teljes területen, ezáltal egyensúlyra szert téve. Más szavakkal, a változás a rendezett állapottól a rendezetlen állapot felé halad. Ez egy randomizációs folyamat, és ugyanez fordul elő, amikor a rendszert az ellenkező irányban követjük nyomon, az úgynevezett múltban, még akkor is, amint azt látni fogjuk, ha az ilyen rendszerek fordított irányának képzetét elvetették. Ez egyúttal megmutatja, hogy a valószínűség nem pusztán a tudatlanság eredménye, vagyis nem szubjektív jellegű. A dinamikus rendszeren belüli objektív tulajdonságról van szó, amely kifejezésre juttat egy alapstruktúrát (Prigogine–Stengers 1984: 273–274).

A pék-leképzés alapstruktúrája egy a sok irreverzibilis idejű szerkezet közül. Az ezt alátámasztó kijelentést a filozófus Karl Popper fogalmazta meg. Ha bedobnánk egy nagy követ egy vízzel teli, mély és nagy medencébe, és felvételt készítenénk a létrejövő, kör alakú hullámok mintáiról, majd visszafelé is lejátszanánk a felvételt, valami érdekes történe. „A visszafelé játszott film a növekvő amplitúdó *összehúzódo*, kör formájú hullámait fogja mutatni”, és a legmagasabb hullámcsúcs mögött, a középpontban, pontosan ott, ahova a követ dobtuk, feltűnik egy kör alakú terület, amelyen belül *zavartalan* a víz (Prigogine–Stengers 1984: 258). A lényeg, hogy ez a fordított jelenség nem olyan, mint egy klasszikus folyamat. Lényegtelen, hogy technikailag milyen szofisztikáltak leszünk, mindig lesz némi távolság a középponttól, amelyen túl sehogyan sem hozhatunk létre *összehúzódo* hullámokat. Hasonlóképpen, amennyiben feltételezzük, hogy az univerzum a „Nagy Bummal” kezdődött, eszerint létezik az idő kozmológiai iránya, egy kozmológiai temporális rend, amelynek feltételezése tulajdonítható a pusztán tudatlanságnak. Persze a reverzibilis, illetve az irreverzibilis folyamatokról azt hangoztatták, hogy

egyszerre léteznek a terjeszkedő univerzumban, de a jelen vizsgálat lényege, hogy a véletlenszerűség meglepte feltételezi, hogy az időnyíl és az entrópia (a rendetlenség) növekedése a véletlenszerűség növekedését fejezi ki (Prigogine–Stengers 1984: 259, 297).

Prigogine és Stengers evolúciós modellje tartalmaz elszigetelt rendszereket is (amelyek a második termodinamikai törvény alapján, rendetlenség következtében alakultak ki), de magába foglal nyílt rendszereket is, amelyek a komplexitás magasabb formáiként bontakoztak ki. Prigogine és Stengers szerint ez a felfedezés egymagában véget vet annak a felfogásnak, amely szerint az ember elkülönül az univerzum más folyamataitól, lévén, hogy az emberek tapasztalják az idő nyílát (Prigogine–Stengers 1984: 298). Továbbá újra összekapcsolja a tudományos belátásokat a filozófiai jellegűekkel. Ez az újbóli összekapcsolódás nem volt konfliktusmentes. Kellert rámutat, hogy volt idő, amikor egy valószínűségi mozzanatokat tartalmazó fizikai probléma megoldása voltaképpen nem számított megfelelő megoldásnak. A klasszikus modell egyszerű funkcionális relációkat magukba foglaló megoldásokat igényelt. A predikció és a retrodikció (a múlt-ról való predikció) nem volt más, mint a kezdeti feltételek megállapítása és matematikai műveletek rutinos elvégzése. Tehát valamely erő befolyása alatt álló két testet magukba foglaló integrálható rendszerek szolgáltatták a modellt a dinamikus rendszerek számára (Kellert 1993: 141–142). Kellert állítása szerint az ilyen struktúra által mutatott, stabil periodikus viselkedés azt a képet sugallta a világról, hogy óraműpontossággal működik, s az egyszerű és egzakt megoldásokkal való megelégedésre sarkallt. Ez a nemlineáris rendszerek elhanyagolásához vezethetett, amelyekről ugyanakkor kiderülhet, hogy voltaképpen egyszerűbbek a lineáris rendszereknél (Kellert 1993: 146).

A felelősség részben a filozófusokat terheli. A tudományos forradalmakat leíró, széles körben elfogadott modell, amelyet Thomas Kuhn terjesztett elő, azt sugallja, hogy az egyetemeken és a kutatóközpontokban vég-

zett mérvadó tudomány a paradigmatiszta problémákra összpontosít, és specializációt, a részproblémákba való beskatulyázódást eredményez – az általános kérdéseket pedig figyelmen kívül hagyja. Ez a *normál* tudomány szemben áll a paradigmaváltásokkal, vagyis a válsághelyzetekkel, amelyek során a tudósok alapvető kérdéseket tesznek fel, és addig versenyeznek egymással, amíg az új paradigma fel nem bukkan, és amíg a tudományos közösség az újat normálisnak nem tekinti (Prigogine–Stengers 1984: 307–308). Mint Kuhn mondja, „a normál tudomány nem a ténybeli és elméleti újdonságokat célozza meg, és amennyiben sikeres, nem is talál ilyet” (Kuhn 1970: 91). Csak akkor található, ha a természet visszaüt, és a normál módszerek kudarcot vallanak. A krízis felszínre hozza az anomáliákat, és a tudományos tevékenység változásra kényszerül. „A versengő felfogások burjánzása, a bárminek a kipróbálására való hajlandóság, az elégedetlenség explicit kifejezése, a filozófiához történő folyamódás és az alapok körül kibontakozó vita – ezek mind a normáltól a rendkívüli felé tartó átmenet tünetei” (Kuhn 1970: 91). Viszont Prigogine és Stengers szerint ez annyit jelent, hogy az innovációt felülírja a tudósokra jellemző, mélységesen konzervatív viselkedés. Mindazonáltal elismerik, hogy a tudósok új paradigmák után kutatva nagyon is felvetettek és továbbra is felvetnek megfontolt és megvilágító erejű kérdéseket. Következtetésük szerint ez kapcsolatban áll az emberi történelemmel és kultúrával. Az idő újrafelfedezése a fizikában nem független és nem is szabad függetlennek lennie a napjainkra jellemző élet más aspektusaitól (Prigogine–Stengers 1984: 308–309).

Kellert hozzáfűzi, hogy a gyakorlati haszon, valamint a társadalmi érdekek figyelembevétele késleltette a káoszelmélet kutatását, és megállapítja, hogy azoknak a feminista tudományfilozófusoknak a munkája, akik feltárták a gender ideológia szerepét a tudományban, „segít bennünket a káosszal való foglalkozás hiányának megértésében” (Kellert 1993: 148–149). Evelyn Fox Keller, Sandra Harding és Helen Longino mind tanulmányozták, hogy

milyen hatást gyakorol a tudományra az ideológia: tiszteletben tartja annak kiválasztását, hogy mely jelenségek számítanak és mely módszerek preferáltak, és ítéletet mond afellett, hogy mely eredmények tekinthetők csakugyan sikeresnek (Kellert 1993: 100). A mechanikus rendszerekkel és a stabil periodikus viselkedést mutató információátviteli technológiával kapcsolatos gyakorlati érdek hajlamos volt elterelni a tudósok figyelmét a kaotikus viselkedés tanulmányozásától. Ez Kellert elgondolása szerint annyit jelentett, hogy a matematika bizonyos fajtái könnyebben kezelhetőnek mutatkoztak a többinél, így aztán ezeket részesítették előnyben (Kellert 1993: 149). Azt tekintették jó megoldásnak, amelyik megfelelt ezeknek az érdekeknek.

Széles körben azt tartották és tartják továbbra is a tudósok céljának, hogy előre lássák és felügyeljék a természeti jelenségeket. Kellert úgy véli, hogy ez a manipulációt serkenti, illetve a nem-emberi természetnek emberi célokból történő kizsákmányolását. A szóban forgó „kulturális és gazdasági érdekek” „pontos, zárt megoldásokat igényelnek”, amelyek a világban előforduló tárgyakat az emberi felhasználásukra redukálják (Kellert 1993: 155).

Még akkor is, ha a normál tudománynak ez a megközelítése túlzónak hat, fontos, hogy Kellert hangsúlyozni igyekszik a természet feletti uralom és a nők feletti dominancia közti korrelációt. Még a nemlineáris dinamika kutatásában is érezhető a „turbulencia és a káosz” képeitől való elragadottság, amelyet azzal a hagyománnyal azonosíthatunk, amely összekapcsolja a nőket „a természet vad, rendezetlen sajátágaival, amelyeket el kell nyomni” (Kellert 1993: 156).<sup>18</sup> A mechanisztikus világnézet, a fizikai dolgok tehetetlenként és holtként való kezelése, valamint a természet felügyeletének és manipulálásának képessége mind közrejátszottak a kaotikus jelenségek tanulmányozásának – más tudományos jelenségek előnyére történő – visszafogásában (Kellert 1993: 157–158). Lehetséges, amiképpen azt Prigogine és Stengers tanúsítják, hogy az emberi társadalomban

bekövetkező demográfiai változások vezetnek végül a nemlineáris dinamika iránt feltámadt érdeklődéshez, és újították meg az ember és a természet, illetve az emberek közti kapcsolatokat (Prigogine–Stengers 1984: 312). Az instabilitásnak és a fluktuációnak számottevő szerepe van az emberi társadalomban. Vagyis remélhetjük, hogy a tudománynak az említett tényekkel kapcsolatos, növekvő aggodalma lehetővé teszi az ember és a természet szempontjából lényeges problémák megoldását.

TERNOVÁ CZ Dániel fordítása

#### IRODALOM

- Atkins, P. W. 1984. *The Second Law*. Scientific American Library, New York.
- Bachelard, Gaston 1984. *The New Scientific Spirit*. Beacon Press, Boston.
- Casti, John L. 1994. *Complexification: Explaining a Complex World through the Science of Surprise*. Harper Collins, New York.
- DeWitt, Richard 2004. *Worldviews: An Introduction to the History and Philosophy of Science*. Blackwell, London.
- Earman, John 1986. *A Primer on Determinism*. Reidel, Dordrecht.
- Gleick, James 1972. „Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wing in Brazil Set off a Tornado in Texas?”. Kézirat, előadásra került az American Association for the Advancement of Science 139. találkozóján 1972. december 29-én.
- Keller, Evelyn Fox 1985 *Reflections on Gender and Science*. Yale University Press, New Heaven.
- Kellert, Stephen H. 1993. *In the Wake of Chaos*. University of Chicago Press, Chicago.
- Kuhn, Thomas 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.
- Mandelbrot, Benoît B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. Macmillan, New York.
- Merchant, Carolyn 1980. *The Death of Nature*. Harper & Row, New York.
- Nicolis, Gregoire–Prigogine, Ilya 1989. *Exploring Complexity: An Introduction*. W. H. Freeman, New York.
- Popper, Karl 1982. *The Open Universe*. Rowman & Littlefield, Totowa, New Jersey.
- Prigogine, Ilya–Stengers, Isabella 1984. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. Bantam Books, New York.
- Serres, Michel 2000. *The Birth of Physics*. Clinamen Press, Manchester.
- Shaw, Robert 1984. *The Dripping Faucet as a Model Chaotic System*. Ariel Press, Santa Cruz.

<sup>18</sup> Kellert Carolyn Merchantot idézi (Merchant 1980: 132).