

HERMÉSZ  KÖNYVEK

---

*Ilya Prigogine*  
*Isabelle Stengers*

---

# AZ ÚJ SZÖVETSÉG

A tudomány  
metamorfózisa

---

Akadémiai Kiadó, Budapest



5828

11475

Az új szövetség



# Az új szövetség

A tudomány metamorfózisa

A szerző neve

E. Bárdi László

NTAK



Magyar Könyvtár - Budapest

*Hermész Könyvek*



Készül az Akadémiai Kiadó  
Társadalomtudományi Szerkesztőségének műhelyében

A sorozatot szerkeszti

*E. Bártfai László*

5828

208873

114475

Ilya Prigogine – Isabelle Stengers

# Az új szövetség

## A tudomány metamorfózisa

MTAK



0 00052 24200 7



Akadémiai Kiadó · Budapest

508673

A fordítás alapjául szolgáló kiadás:  
*La nouvelle alliance. Métamorphose de la science.*  
Gallimard, Paris, 1986

Fordította  
*Dévényi Levente*

A fordítást szakmailag ellenőrizte  
*Schubert András*

Az eredetivel egybevetette  
*Albert Sándor*

Megjelent a Francia Külügyminisztérium és a Magyarországi Francia Nagykövetség  
Kulturális Osztályának támogatásával a Kosztolányi Könyvkiadási Támogatási  
Program keretében

AKADÉMIAI  
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6921 3

Kiadja az Akadémiai Kiadó  
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 19-35.  
Első magyar nyelvű kiadás: 1995

© Ilya Prigogine et Isabelle Stengers  
Hungarian edition © Akadémiai Kiadó, Budapest 1995  
Hungarian translation © Dévényi Levente

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás,  
a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

*Printed in Hungary*

M. TUD. AKADÉMIAI KÖNYVTÁRA  
Könyvleltár 872...../19 96. sz.

# Tartalom

	3. A galileuszi inerciarendszer	208
	4. Hátrózatlanosság	215
	5. A kvantummechanika	219
101	IX. Az egyszerű és a bonyolult	225
102	1. A bűn és a tömeg	225
110	2. Az energiamegmaradás	225
113	3. A hőerőforrás	235
	4. A Boltzmann-féle entropia	242
	5. A relativitás	245
	IX	
	Bevezetés. A tudomány metamorfózisa	1
	Első könyv	
	Az egyetemesség délibábja: a klasszikus tudomány	
132	I. Az újkori tudomány programja	23
138	1. Az új Mózes	23
140	2. A varázstalanított világ	26
146	3. A newtoni szintézis	32
149	4. A kísérletes párbeszéd	37
152	5. A mítosz a tudomány kezdeteinél	40
156	6. A tudomány mítosza ma	47
	II. A valóságos azonosítása	53
	1. Newton törvényei	53
	2. Mozgás és átalakulás	58
	3. A dinamika nyelvezete	66
	4. A dinamika és Laplace démona	74
	III. A két kultúra	79
	1. Az élő anyag beszédmódja	79
	2. A kritikai ratifikáció	85
	3. Új természetfilozófia?	89
	VIII. A jelenkori tudomány megújulása	
	1. A Boltzmann-féle entropia	
	2. Dinamika és termodinamika	
	3. A Gibbs-féle sokaságok	
	4. A megfontolatlanság	
	VII. Doktrínák átköszése	
	1. A Boltzmann-féle entropia	
	2. Dinamika és termodinamika	
	3. A Gibbs-féle sokaságok	
	4. A megfontolatlanság	
	VIII. A jelenkori tudomány megújulása	
	1. A Boltzmann-féle entropia	
	2. Dinamika és termodinamika	
	3. A Gibbs-féle sokaságok	
	4. A megfontolatlanság	

## Második könyv

### Az összetettség tudománya

IV. Az energia és az ipari korszak	105
1. A hő mint a tömegvonzás vetélytársa	105
2. Az energiamegmaradás elve	110
3. A hőerőgépektől az időnyílág	115
4. A Boltzmann-féle rendezettség elv	125
V. A termodinamika három lépcsőfoka	132
1. Fluxusok és erők	132
2. A lineáris termodinamika	138
3. A nemlineáris termodinamika	140
4. Találkozás a molekuláris biológiával	146
5. Túl a kémiai instabilitás küszöbén	149
6. Folyamattörténet és elágazások	153
7. Eukleidésztől Arisztotelészig	156
VI. A fluktuációs rendezettség	161
1. A nagy számok törvénye	161
2. Fluktuációk és kémiai kinetika	163
3. A kinetikai egyenletek stabilitása	167
4. Véletlen és szükségszerűség	176

## Harmadik könyv

### A létezésről az átalakulásig

VII. Doktrínák ütközése	185
1. A Boltzmann-féle áttörés	185
2. Dinamika és termodinamika: két külön világ	191
3. A Gibbs-féle sokaságok	193
4. A megfordíthatatlanság szubjektivistá értelmezése	197
VIII. A jelenkori tudomány megújulása	203
1. A mikroszkopikus egyszerűség meghaladása	203
2. Az egyetemesség vége: a relativitáselmélet	206



3. A galileánus tárgy vége: a kvantummechanika	208
4. Határozatlansági relációk és komplementaritás	215
5. A kvantumidő	219
IX. Az egyszerű és a bonyolult szintézise felé	225
1. A klasszikus fogalmak határán	225
2. A dinamika újjászületése	228
3. A fluktuációktól az átalakulásig	235
4. Kiterjesztett komplementaritás	243
5. Új szintézis	245
Befejezés. A világ újravarázsosítása	251
1. A mindentudás vége	251
2. A megtalált idő	260
3. Színészek és nézők	262
4. Örvénylés az örvénylő természetben	267
5. A nyitott tudomány	271
6. A tudományos kérdésfeltevés	275
7. A természet metamorfózisai	279
Köszönetnyilvánítás	283
Függelék	285
I. A nyugtalan idő	285
II. A természettel folytatott párbeszéd új útjai	301
Jegyzetek	317



## Előszó a második kiadáshoz

Hat évvel ezelőtt a következőket írtuk: „A dolgokat mai állásukban szeretnénk bemutatni, nem felejtve el, mennyire elégtelenek válaszaink, s mennyi előre megjósolhatatlan problémát vethetnek még fel jelenlegi elméleteink.” Mindez a mai helyzetre is igaz. Pedig mekkora utat jártunk be azóta, hogy *Az új szövetség* elkészült!

Az elméleti fizika a XX. században elsősorban a végtelenül kis és végtelenül nagy mennyiségek kutatását jelentette. Ha néhány évvel ezelőtt egy fizikusnak feltették volna a kérdést, hogy a fizikai jelenségek világában mi az, ami még magyarázatra vár, biztosan azt válaszolta volna, hogy ugyan még nem értjük kielégítő módon az elemi részecskéket vagy a világegyetem fejlődését, de saját világunk már nemigen tartogat valódi meglepetéseket számunkra. Időről időre újra felbukkan az a meggyőződés, hogy a fizika lezárása küszöbön áll. Jusson eszünkbe Laplace mondása a mechanika diadaláról: Newtonból nem lesz még egy, mert felkutatásra váró világból sincs kettő. A XIX. század végén újra kialakult az a meggyőződés, hogy a fizika elérte határait. Ma pedig S. Hawking, a neves elméleti asztrofizikus kijelenti, hogy „a fizika végpontjához érkezett”, és a közeli jövő feladata az lesz, hogy számítógéppel numerikusan is ellenőrizzék az elméleti fizika nemsokára egységessé váló világképét.

Az utóbbi időben viszont tömegével merültek fel újabb kérdések, melyek nyilvánvalóvá tették tudatlanságunkat az ismertnek vélt anyag tulajdonságait illetően. Manapság a biológikum sajátosságai, az információ fogalmának kialakulása, a struktúra és a rend fogalma szervezik újjá a világunkra vonatkozó tudásanyagot. Az új elképzelések, amelyek ebben a makroszkopikus világban kialakulnak, kétség-

kívül hatással lesznek az elemi részecskék és a kozmológia világára is. Az olyaténképpen meghatározott „magas” fizika fogalma, amely a számunkra elérhető határok felkutatását tűzi ki célul — a nagyenergiák fizikája, a Világegyetem határvidékét vizsgáló fizika — maga is eltűnőfélben van. Az általunk lakott világ éppen annyi meglepetést tartogat, és éppen olyan gazdagnak mutatkozik új távlatokban, mint a végtelenül nagy és végtelenül kis mennyiségek szédítő felfedezése. A tudomány még csupán kezdeti lépéseit tette meg.

Ez a megújulás újabb könyvet érdemelne. Itt csupán arra szorítunk, hogy felvázoljuk néhány oldalát, melyek elmélyíthetik *Az új szövetségben* kifejtett állításokat.

A tudomány minden szinten újra felfedezi az időt. S talán éppen az idő kérdésköréből bomlik ki előttünk a tudományos ismeretanyag új típusú egysége. Természetesen nem a fizikai világ ama egységes elképzelésére gondolunk, amelyet a század elején a tudományos kutatás végső céljának tekintettek. Ahogyan már említettük, ebből a szempontból az idő ellenfél volt, az időben zajló folyamatok sokféleségét pedig illet tagadni és látszatnak tekinteni. Ez tulajdonképpen azt a lényegi ellentmondást tükrözte, amely egyfelől a fizikusi „megértés”, másfelől az embereket és történelmüket létrehozni képes világ megértésére irányuló vágy között feszült. Az újonnan felfedezett, sokágú és összegabalyodó idő vezérfonalává válhat a kutatói tevékenységnek, amely megfogalmazza a redukciómentes tagolást és a tagadást kiküszöbölő magyarázatot.

Az idő újrafelfedezése a fizikai-kémiai világban önmagában is arról tanúskodik, hogy a tudomány története nem azonosítható az adatoknak az egyszerű és egyhangú előrehaladásban összegezhető lassú felhalmozódásával. A tudományok története tele van konfliktusokkal, kockázatvállalásokkal, váratlan újrafogalmazásokkal. A legmegrázóbb példa erre a meglepetésekkel és átértelmezésekkel teli történetre talán éppen az időbeli Világegyetemnek a története, amelynek ma részesei vagyunk.

Mekkora diadalt aratott az Einstein által elképzelt négydimenziós Világegyetemmel az a fizika, amely tagadta az időt! S micsoda megrázkódtatás következett be, amikor felfedezték tárgya evolutív természetét! Az Einstein által megalkotott kozmológiai egyenlet a leírandó statikus Világegyetemet csak mint különös esetet tartalmazta. A geometria időbelivé válása lassan felváltotta az idő térbeliségét. A Világ-

egyetem és a galaxisok tágulása, amely érzékelhető formájában a Hubble-törvényben jelenik meg, a megfigyelt világot megfosztotta örök igazság voltától, s a kozmikus változás egyik pillanatává tette. Ám a geometrikus — noha táguló — Világegyetem áttetsző képe maga is kezdett zavarossá válni. 1965-ben Wilson és Penzias felfedezték azt a nevezetes háttérsugárzást, amelyet Alpher és Herman már 1947-ben megjósolt. Ez a három Kelvin-foknak megfelelő sugárzás — melyet az einsteini egyenletből következő tágulás elképzelhetetlen kezdeti pillanatának nyomaként értelmeztek — újra felvetette a kozmogenezissé váló kozmológia, a Világegyetem termikus fejlődése problémáját. Ma a harmadik szakaszt éljük. Ugyanis elkerülhetetlenül felvetődik a Világegyetem létrejötté termikus feltételeinek, annak a kezdeti pillanatnak a problémája, amelynek emléke ez a háttérsugárzás. S ezzel egy olyan Világegyetem elmélete kerül napirendre a kozmológiában, mely termodinamikai értelemben távol esik az egyensúlytól.

A Világegyetem entrópiájának fogalma nem újabb kori találmány. Az a termodinamikai folyamat azonban, amelyre vonatkozott, egyszerű, adiabatikus folyamat volt, melyben a termikus egyensúlyban lévő és folyamatosan táguló Világegyetem fokozatosan lehűlt. Az új kérdés a kezdeti egyensúlyhiányra vonatkozik, amelyből mind a háttérsugárzással mért tehetetlen fotonok, mind a bennünket alkotó, saját tömeggel rendelkező részecskék létrejöttek.

A megnyílni látszó távlatok egy ősfázisátalakulás felé mutatnak, amelyből a sugárzás és a strukturált, valószínűleg instabil részecskék létrejöttek. Ebben az értelmezésben a megfordíthatatlanság éppúgy az anyagba van írva, mint ahogyan az életnek is része. A Földet fényel elárasztó Nap sugárzása természetesen rokon a disszipációval, de részes az összetett struktúrájú biomolekulák létrejöttében is. Az, hogy ugyanez a kettősség megtalálható a Világegyetem létrejötténél is, megrázó jelképe az idő és a létező világ közötti viszonyok átalakulásának. Időfogalmunk jelenleg nem illeszthető ugyan az anyag viselkedésében megfigyelhető szabályszerűségekhez, de arra a teremtő, megfordíthatatlan időre kell itt gondolnunk, amely létrehozta az általunk megfigyelhető geometrikus, táguló Világegyetemet, s amely még ma is forrása összetett, sokszínű életünknek.

Jó volna több helyet szánni a sokasodó forгатókönyveknek, melyek a Világegyetem létrejöttét írják le. Ám meg kell elégednünk

ezzel a rövidke célzással, hogy minél hamarabb rátérhessünk a mi világunkra, melyben szintén a disszipáció uralkodik.\*

Itt az egyik középponti fogalom az „attraktor”, a vonzó állapot fogalma. A vonzó állapotokra megszámlálhatatlan példa akad, és a fizika ezeket jól ismeri. A súrlódó inga, amely lassan lefékeződik, vonzó állapotába tér vissza. A meleg folyadék, amelynek hőmérséklete környezetéhez képest fokozatosan kiegyenlítődik, vonzó állapotba kerül. Azokban az esetekben, ahol a fizika és a kémia stabil és megismételhető viselkedésekkel találkozott, ezek a tudományok — akárcsak elődjük, az emberi gyakorlat — azonosították a vonzó állapotokat és a hozzájuk vezető változásokat.

A vonzó állapot létevel együtt járó stabilitás valójában erősebb a dinamikai rendszerek stabilitásánál. Az a lényegi különbség nyilvánul meg benne, amely a disszipatív rendszerek — a súrlódó ingától a vegyi reakciókig — és a klasszikus dinamika által leírt konzervatív rendszerek között áll fenn. A Föld pályája, ha egy meteor megzavarja, soha többé nem nyeri vissza kezdő értékeit. A dinamikai pálya nem képes elfelejteni azt, ami megzavarta. A valódi inga viszont bármilyen zavar után visszatér nyugalmi helyzetébe. Mint ahogy a 124. oldalon hangsúlyoztuk, a vonzó állapot stabilitása magában foglalja a zavarok *elfelejtődését*. Ez a fajta stabilitás ad értelmet a megismételhetőség fogalmának: hasonló körülmények között hasonló változás fog bekövetkezni; a vonzó állapotok stabilitása

\* A Világegyetem termikus változásáról lásd S. WEINBERG, *The First Three Minutes. A Modern View of the Origin of the Universe*, New York, Basic Books, 1977 [Magyarul: *Az első három perc*, Budapest, Gondolat, 1982]. Az eredetére vonatkozó forgatókönyvek kapcsán pedig: P. C. DAVIES, *The Accidental Universe*, Cambridge, University Press, 1982; A. D. LINDE, „The Inflationary Universe”, *Rep. Prog. Physics*, vol. 47, 1984, 925–986.; A. VILENKIN, „Birth of Inflationary Universes”, *Physical Review D*, vol. 27, 1983, 28–48.; E. GUNZIG – P. NARDONE, „From Unstable Minkovsky Space to the Inflationary Universe”, *General Relativity and Gravitation Journal*, vol. 16, 1984, 205.; E. GUNZIG, „Self-Consistent Cosmogenesis”, *Relativity, Supersymmetry and Cosmology*, World Scientific Publisher, Singapore, Wiley, 1985; E. GUNZIG, „Self-Consistent Cosmology, Inflationary Universe and all of that...”, megjelenés előtt a *Fundamentals of Cosmic Physics*-ben; J. GEHENIAU és I. PRIGOGINE, megjelenés előtt a *Proceedings of the National Academy of Sciences*-ben (USA); I. PRIGOGINE, – J. GEHENIAU – E. GUNZIG, megjelenés előtt a *Proceedings of the National Academy of Sciences*-ben (USA).

lehetővé teszi, hogy a szóban forgó „hasonló” körülmények ne a rendszereknek a legkisebb részletben is érvényesülő azonosságát jelentsék, hanem csupán ugyanahhoz a vonzási medencéhez való tartozásukat.

„A termodinamika három lépcsőfoka” című fejezetben felvázoltuk a termodinamika fokozatos kiterjesztését azokra a területekre, amelyeket kezdetben kizárt érvényességi köréből: azokra, amelyeknek sajátja az állandó egyensúlyhiány, amelyet azok az energia- vagy anyagfluxusok jellemeznek, amelyek egy rendszerben fenntartják a disszipatív folyamatokat, és megakadályozzák, hogy eljusson a vonzó, egyensúlyi állapotba. Láttuk, hogy az egyensúlyhoz közeli stacionárius állapot, mely a minimális entrópiatermelésnek felel meg, lehetővé teszi egy vonzó állapot meghatározását, mely alapvetően hasonló az egyensúlyi állapothoz. De az egyensúlytól távol megjelenhetnek más típusú attraktorok is, például a rendszer által spontán módon felvett periodikus időbeli változásnak megfelelő „határciklus”. Ez a terület — túl az egyensúlyi állapothoz hasonló stacionárius állapotok instabilitását jelző kritikus ponton — a „disszipatív struktúrák” területe.

Azóta felfedeztek újabb „attraktorokat” is, melyek gazdagítják a szabályos és a véletlenszerű dialektikáját.\* A periodikus viselkedésű disszipatív struktúrát szabályos viselkedés jellemzi. Igaz, hogy létrejött egy stacionárius állapot instabilitásával és egy fluktuáció makroszkopikus méreteket öltő felerősödésével áll összefüggésben, de ha már egyszer létrejött, viselkedése a fluktuációkhoz képest megjósolható és stabil (legalábbis az őt tápláló fluxusok egy jól meghatározott tartományában). Ám a matematikusok és fizikusok ismernek egy olyan új típusú attraktort is, mely nem utal szabályos viselkedésre. Ez a fajta attraktor nem egy ponttal jellemezhető — mint az egyensúlyi állapot —, nem is egy vonallal — mint a határciklus —, hanem pontok sűrű halmazával, olyan sűrűvel, hogy ezek a pontok a legkisebb tartományban is megtalálhatók legyenek. Olyan halmazok ezek, melyeket „fraktális” tört dimenzióval ruházhatunk fel. Az ilyen típusú attraktorok kaotikus típusú viselkedésre kényszerítik azt a

\* Lásd A. BERGE, - Y. POMEAU - C. VIDAL, *L'ordre dans le chaos*, Paris, Herman, 1984, valamint H. G. SCHUSTER, *Deterministic Chaos*, Weinheim, Physik-Verlag, 1984.

rendszer, amelyhez tartoznak. Attraktor és stabilitás itt elválnak egymástól. David Ruelle ezeket a „különös attraktorokat” — melyeket „fraktális attraktoroknak” is neveztek — a kiindulási feltételekhez való nagyfokú alkalmazkodással jellemezte. Ez azt jelenti, hogy az attraktort többé egyáltalán nem jellemzi a paraméterei kismérvű változására való érzéketlenség. Minden kis változás aránytalanul nagy hatásokat eredményezhet, és a rendszert egészen más jellegű állapotba viheti át. Mivel az ilyen változások lényegileg elkerülhetetlenek, ez azt jelenti —, hogy a rendszer soha véget nem érő „bolyongásra” kényszerül az állapotok között, végigjárva a „fázisér” egészét, vagyis azt a teret, amelyet lehetséges attraktorai fraktálisan lefednek. Közben olyan viselkedést vesz fel, amely hasonló azokhoz a turbulens rendszerekhez, amelyeket a mindennapi életből is ismerünk.

A determinisztikus és a véletlenszerű közötti ellentét kétszeresen is elenyészik. Az egyszerű vonzó állapot, melynek jóvoltából determinisztikus módon megjósolható egy rendszer jövőbeli állapota, úgy is értelmezhető — ahogyan azt a IV. fejezet 4. szakaszában láttuk —, mint lényegileg véletlenszerűnek tekinthető mikroszkopikus viselkedések eredője. És fordítva, egy differenciálegyenletek formájában megjelenő makroszkopikus leírás — melyben mintha megvalósulna az oksági determinizmus, hiszen a rendszer egy adott pillanatban vett változását a rendszer pillanatnyi állapotához köti — itt olyan megfigyelhető viselkedést hoz létre, mely véletlenszerű. Világleírásaink ettől fogva nem a véletlen és szükségszerűség ellentétére, hanem a stabilitás és instabilitás fogalmaira épülnek.

Ennél tovább is léphetünk, és megkísérelhetjük a „dinamikai rendszer feltámasztását”, ami esetenként  $v$  valószínűségi változókkal jellemzett fizikai mennyiségek egész sorozatának bevezetésével lehetséges. A II. Függelékben visszatérünk erre az eljárásra, de hadd mutassunk be már itt egy különösen találó példát. A meteorológiai jelenségek jellemző példái a látszólag véletlenszerű instabil jelenségeknek. Tudjuk, hogy a rövid távú légköri változások leírásában igen sok tényezőt kell figyelembe venni. A hosszú távú meteorológiai változásokkal kapcsolatban feltehetjük a kérdést: van-e értelme megértésüket olyan „nagybani” modellekből kiindulva megkísérelni, amelyekben ilyen sok változó játszik szerepet? Tudjuk, hogy éghajlatunk milyen nagy változásokon ment át. Például két-háromszáz



millió évvel ezelőtt a szárazföldeken gyakorlatilag ismeretlen volt a jég, a tenger szintje pedig mintegy nyolcvan méterrel állt magasabban a jelenleginél. Tudjuk, hogy a negyedkorban számos alkalommal került sor jégedésre, mégpedig átlagosan százezer évenként. Van-e értelme olyan modell felállítását megkísérelni, amely ezeket a nagymérvű változásokat bizonyos feltételezett mechanizmusokkal magyarázza?

A dinamikai rendszerek viselkedésének tanulmányozásában elért újabb sikerek alapján meghatározható, hogy egy rendszer állapotát jellemző, látszólag véletlenszerű időbeli megfigyeléssorozat megfelel vagy nem felel meg egy determinisztikus egyenletekből álló rendszer által kiváltott kaotikus viselkedésnek.\* Ráadásul meghatározható azon független változók száma is, amelyek részt vesznek az ismeretlen egyenleteknek ebben az együttesében. E módszerek — ha a földi éghajlat hosszú távú változását jellemző jelenségek sorozatára alkalmazzuk őket — meglepő eredményre vezetnek: ezeket a változásokat egy négy független változót tartalmazó egyenletekből álló egyenletrendszer hozza létre.\*\* Ez azt jelenti, hogy felesleges megkísérelni azoknak a „rejtett változóknak”, azoknak a sajátos mechanizmusoknak az azonosítását, amelyek úgymond a légkör nagymérvű fluktuációit okozzák. A klimatikus rendszernek olyan lényegi-belső bonyolultságot, olyan megjósolhatatlanságot kell tulajdonítanunk, amelyet az irányító mechanizmusok jobb megismerése sem csökkenthet, hiszen az nem a jelenlévő tényezők nagy számáról, hanem a klimatikus viselkedés instabilitásáról ad számot.

Az ilyen modellezés nem a jelenség *előrejelzését* tűzi ki célul, hanem az azt leíró megfigyeléssorozatra *legtalálóbbról* értelmezésmódot kívánja felépíteni. Erre egy másik példa az agy elektromos tevékenységének vizsgálata úgy, ahogyan az az elektroencefalogramban tárul fel előttünk. Kimutatták, hogy az álmot jellemző mérési eredmények egy öt független változót tartalmazó fraktális attraktor-nak felelnek meg. Tehát itt újra az egyszerűség és bonyolultság ellen-

\* P. GRASSBERGER – I. PROCACCIA, *Physica*, 9D, 1983, 189–208.

\*\* C. NICOLIS – G. NICOLIS, „Is there a Climatic Attractor?”, *Nature*, vol. 311, 1984, 529–532.

tétpárjával van dolgunk.\* Az agyunkat alkotó több milliárdnyi neuron szinte elképzelhetetlen összekapcsolódása a fenti megfigyelés-sorozatban viszonylag egyszerű dinamikai egyenletrendszerrel ábrázolható, ám magát a rendszert lényegi-belső dinamikai bonyolultság, az általa létrehozott viselkedés instabilitása jellemzi. Vagyis az instabilitás fogalmi érvényességének felfedezése új kaput nyit az agytevékenység megértéséhez. S mivel az agy több millió évnnyi szelektív evolúció eredménye, joggal tehetjük fel a kérdést, hogy egy ilyen leírás lehetősége mond-e újat az agy szerepéről, például az élet körülvevő világra való reagálóképességet tekintve. Más szóval, az a dinamikai instabilitás, amely lehetővé teszi az agyi viselkedés egyes oldalainak leírását, a biológiai fejlődés eredménye-e?

Jegyezzük meg egyébként, hogy az itt kirajzolódó megközelítés elkerüli a megélt tapasztalatot neuronok kapcsolódására visszavezető redukcionizmus és az ellentétes álláspont — mely teljes mértékben tagadja bármiféle neurofiziológiai megközelítés érvényességét e tapasztalat megértésében — kétoldali veszélyét. A fiziológiai megközelítés lehetővé teszi annak megértését, hogy ténylegesen milyen módon vetődnek fel az élő számára a problémák. David Ingvar\*\* például neurofiziológiai különbségtételt javasol a különböző típusú emlékezőképességek között. A homloki kéregállomány kapcsán a „jövőbeli emlékezésről” beszél, múltbeli események olyan feldolgozásáról, mely megfosztaná őket az oksági kapcsolatoktól, és lehetővé tenné a viselkedés megszervezését megelőlegezések és jóslatok formájában. Nem arról van szó, hogy a múlt, jelen és jövő közötti — tapasztalati világunk lényegi részét alkotó — különbségtételt neuronális mechanizmusokra vezessük vissza, sem arról, hogy ilyen mechanizmusokra hivatkozva megmondjuk, hogyan kell helyesen leírni a megelőlegezéseket és jóslatokat. A kutatást (az anyagcsere és a helyi véráramlások mérését) — amennyiben az agy „funkcionális ábráját” kívánja megrajzolni — a múlt, jelen és jövő

\* A. BABLOYANTZ, - J. M. SALAZAR - C. NICOLIS, „Evidence of Chaotic Dynamics of Brain Activity During the Sleep Cycle”, *Physics Letters*, vol. 111A, 1985, 152-156. Ugyanezt a módszert egy epileptikus krízis vizsgálatában is alkalmazták: A. DESTEXHE - A. BABLOYANTZ, „Low Dimensional Chaos in an Epileptic Seizure”, megjelenés előtt a *Proceedings of the National Academy of Sciences*-ben (USA).

\*\* D. INGVAR, „'Memory of the Future'. An Essay on the Temporal Organization of Conscious Awareness”, *Human Neurobiology*, 4, 1985.

közötti különbségtétel attól a formától függően vezérli, amilyenben a megélt tapasztalatban megjelenik. Az agytevékenység egyes területei között kimutatható esetleges különbségek tehát nem magyarázzák meg, miért előlegezzük meg különböző módon a jövőt, és miért éljük meg különbözőképpen a múlt emlékét. Kifejeződik viszont bennük a két probléma között fennálló lényegi különbség: az egyik az a probléma, amelyet minden jövő felé irányuló tevékenységnek meg kell oldania, a másik annak problémája, hogy mi módon épülnek be a jelen tapasztalatba az élő egyed által megélték.

Az attraktorok azonban csupán egyik oldala annak a problémának, amelyet a disszipatív világ elmélete vet fel. A mikroszkopikus és makroszkopikus viszonyának szintén köze van a stabilitás problémájához. A második főtétel egy elszigetelt rendszer termodinamikai egyensúlyi állapotát attraktorként határozza meg. Biztosítja számára a stabilitást, vagyis a nem szűnő zavaró fluktuációk csillapodását. A differenciálegyenletek rendszerében megvalósuló, átlagértékekkel dolgozó leírást a makroszkopikus állapot stabilitása ruhazza fel értelemmel. Ezeknek az egyenleteknek a determinizmusa tehát abban a lehetőségben rejlik, hogy a nagyságrendek elválaszthatók egymástól, és az átlagérték megkülönböztethető az azt létrehozó fluktuáló mikroszkopikus tevékenységtől.

A „fluktuáció létrehozta rendezettség” arra utal, hogy az egyensúlytól távoli rendszerek esetében ez az elválasztás nem mindig lehetséges. A fluktuációk szerepe azokban az instabilitási pontokban, ahol a rendszer elágazhat, és új makroszkopikus rendre térhet át, egyáltalán nem jelenti azt, hogy itt a nemtudásia hivatkoznánk. Éppen ellenkezőleg, azt mondhatnánk, hogy az instabilitási pontok és annak lehetetlensége, hogy elválasszuk egymástól az általuk jelzett fluktuáló mikroszkopikus tevékenységet az átlagértéktől, a rendszer „felüldetermináltságára” utal. Egy stabil makroszkopikus állapot közömbös saját tevékenysége részleteire. Az átlagértéktől való helyi eltérésnek nincs semmilyen következménye. A kritikus pontban ellenben hosszú távú *korrelációk* jelennek meg. Ekkor minden fluktuációnak az egész rendszert érintő következményei lesznek.

Tehát fluktuáció és megérthetőség éppoly kevésbé ellentéte egymásnak, mint determinizmus és véletlenszerűség. Ám olyan fogalmi keretet alkotnak, amelyben a makroszkopikus és mikroszkopikus tényszerű különbsége többé nem előfeltételként, hanem

problémaként jelenik meg. Ugyanúgy, ahogyan a makroszkopikus vonzó állapot és a stabilitás egymást kiegészítő voltáról kiderült, hogy nem általános tulajdonság, hanem különös esete a fraktális attraktoroknak, itt is a makroszkopikus leírás fogalma — vagyis a leírásból adódó vonzó állapotok fogalma — veszíti el általános jellegét. Az egyensúlyi állapot sokáig volt értelmezhető modell a makroszkopikus és mikroszkopikus egymáshoz fűződő viszonyának megértésében. Ezentúl olyan egyedi állapotként határozható meg, melyben a korrelációk hatása és intenzitása nulla.

Minden tapasztalatunk és most már ismereteink is azt mutatják, hogy a Világegyetem időben polarizált. Mit jelent ez a polarizáltság? Vajon nem csupán látszat, amelyet készpénznek veszünk? Vagy alapvető és lényegi struktúraként létezik? Ez a probléma volt *Az új szövetség* legfőbb témája. Az I. Függelékben, ahol leírjuk a legújabb eredményeket, amelyek segítségével tisztázhatjuk és pontosíthatjuk, újra kitérünk rá. Itt most csupán jelentőségét szeretnénk kiemelni.

Ez a jelentőség magában a fizikai törvény fogalmában rejlik. A klasszikus dinamika a periodikus jelenségekkel — például a csillagok mozgásával — foglalkozott, és hasonlíthatatlan eleganciával és tömörséggel fejezte ki igazságukat: ezek a jelenségek nem ismerik az idő irányultságát, s változatlanul ismétlik a jövőben a múltat. A kérdés az, vajon ezzel az igazsággal a dinamika megtette-e a magáét, vagy ellenkezőleg, lehetségesek-e újabb megfogalmazások, melyek túllépnek a klasszikus — netán a kvantummechanikával és a relativitáselmélettel feldúsított — tudomány fogalmi keretein.

Vegyük újra a dobókocka példáját (237. old.)! A kocka azért válhatott a szerencsejáték eszközévé, mert tudjuk, hogy minden dobáskor egy a hathoz eséllyel kerül a hat lehetséges oldal közül felülre az egyik. Az esetek egyenként megjósolhatatlanok. Természetesen ellene lehetne vetni, hogy ha ideális tudással rendelkeznénk, a helyzet már nem lenne ugyanaz. Az egyik oldalhoz egységnyi valószínűséget rendelhetnénk, az összes többihez pedig nullát. A kérdés éppen itt vetődik fel: a dobókocka dinamikai törvénye vajon determinisztikus törvény, vagy valószínűség alapul?

Nem általános kérdéstről van itt szó, hanem a mozgás instabil jellegéből *fakadó* problémáról, melyet a dobókocka példája csupán szemléltet. A század eleje óta túl gyakran éri a „pozitivizmus” vádját azokat az elméleteket, amelyek fenyegethetik az „objektív” természet-

felfogás egyeduralmi törekvéseit, azaz fenyegethetik a fizikát abbéli szándékában, hogy — akár csak meghatározatlanul — olyan nézőpontból szemlélje a természetet, mely lényege szerint megegyezik egy teremtor Isten nézőpontjával. Ma is „instrumentálisnak” fogják bélyegezni azt a gondolatot, mely szerint a fizikai leírások véges jellege nem felejtetho el. Teljesen nyilvánvaló, hogy ha a dinamikai mozgás általában stabil lenne, akkor az átmenet az ideális leíráshoz a mi véges ismereteink mellett sem okozna gondot, és az a tény, hogy alapvető jelentőséget tulajdonítunk neki, csakis *a priori* filozófiai elképzelés eredménye lehetne. A fizikát az instabil dinamikai rendszerek felfedezése állította válaszut elé. Vagy nem vesz tudomást a problémáról, és — mint meglátjuk — szoros formalizmusba zárkózik egy ezentul még ideális, végtelenul pontos mérésekkel sem megközelíthető eszmény körül, vagy pedig elfogadja a problémát, és olyan formalizmust dolgoz ki, amely kiszabadítja azoknak a fogalmaknak a jármából, amelyeket megfigyelhető korrelátummal (mint a pálya az instabil dinamikai rendszerek, vagy a hullámfüggvény az instabil kvantumfizikai rendszerek esetében) csakis az ideális mérés határátmenete ruházhat fel.

Tekintsük a határátmenet egyik klasszikus példáját, a körbe írt sokszöget, mely csúcsainak sokszorozásával egyre közelíthető a körvonalához. Ezt a transzformációt folytonosként is leírhatjuk: a sokszög oldalhosszainak összege folytonos módon közelít a körvonal hosszához. Bizonyos minőségi tulajdonságokkal is rendelkezik: a sokszög görbülete minden pontjában nulla, a csúcs kivételével, ami megkülönbözteti a körtől. Ám mivel a csúcsok száma folytonosan növekszik, magát ezt a minőségi transzformációt tartalmazza a transzformáció folytonossága. Ugyanígy, a stabil dinamikai rendszer pontos leírása során a határátmenet nem okoz különösebb problémát. Isten, Laplace démona vagy a fizikus ugyanolyan típusú tudással rendelkezik, ugyanolyan típusú, szinte tizedes pontosságra megegyező leírásokat alkotnak. Kockadobáskor ellenben minden — bármilyen jelentéktelen — pontatlanság, bármilyen kis távolság a végtelen felé tartó pontosság és a ténylegesen végtelen megjósolhatóság között növeli a különbséget megjósolható és nem megjósolható viselkedés között.

A probléma tehát nem a véges és a végtelen közötti határ átlépésének jogossága általában, hanem azoknak a leírásoknak a jogsze-

rűsege, amelyeknek már az értelmezésében benne rejlik az alapvetően elérhetetlen ismeret létének feltételezése. Tételünk a következő: „fizikai törvényekről” csakis a lehetőség szerint és a gyakorlatilag végtelen ismeretekre irányuló határátmenetre vonatkozó „robusztus” leírások értelmében lehet beszélni.

A dinamikai rendszerek Poincaré-féle osztályozása\* óta tudjuk, hogy közülük egyesek — nevezetesen a „Bernoulli-féle eltolások” rendszerek (lásd az I. Függelékben) — rendelkeznek azokkal a vonásokkal, amelyeket a dobókockánál láttunk: e rendszerek esetében a determinisztikus változás törvényének fogalmát szerintünk el kell felejteni. Ezekben az esetekben a klasszikus dinamikának át kell engednie helyét egy új matematikai formalizmusnak, mely magába építi ismereteink véges — vagy önkényes pontosságú — jellegét.

Hangsúlyozzuk, hogy nem tulajdonítunk rendkívüli fontosságot az instabil dinamikai rendszereknek: ezek most már részét alkotják az égi mechanikának, s nem csupán a jövőjét firtató kérdőjelek formájában, hanem olyan eszközökként, melyekkel megközelíthető az égitestek általunk megfigyelhető eloszlásának problémája.\*\* Kiindulópontját jelentik annak, amit a fizikusok a „mechanika megújulásának” neveznek.

A mechanika megújulása tehát arra késztet bennünket, hogy átértelmezzük a fizikai törvény fogalmát, amelyet a klasszikus mechanika alkotott meg. A klasszikus változási törvény tárgya olyan szinguláris rendszer volt, melynek determinisztikus leírás felelt meg. Természetesen ez idealizáció volt, hiszen bármely véges pontosságú mérés — bármilyen nagy is ez a pontosság — csak rendszeregyüttes, és nem egyedi rendszerek mérésére alkalmas. Ez az idealizáció, amely jogos volt mindaddig, amíg hasonló rendszerek hasonló változásokon mentek keresztül, nem fogadható el az instabil dinamikai rendszerek esetében. Pontosabban, az általa létrehozott leképezés

\* Ezzel kapcsolatban lásd I. EKELAND, *Le calcul et l'imprévu*, Paris, Seuil, 1984.

\*\* Például az üstökösök befoghatók a Jupiterrel való rezonancia alapján; felhőt alkotnak, mely parabolapályán halad a Nap körül. Az egyes üstökösök mozgása önmagában nem megjósolható; a dinamika azonban képes megjósolni az üstökösök felhőjének struktúráját. Testek halmazáról van szó, nem pedig egyedi testről, melyet mint dinamikai testet lehet meghatározni. Lásd T. Y. PETROVSKY-nak a *Physical Review Letters*-nek beküldött „Chaos and Cometary Clouds in the Solar System” című cikkét.

csak egy szinguláris határesetet fog tükrözni, a stabil rendszerek esetét. Az instabil rendszerek köré szerveződő általános leképezés tárgyai azok a sokaságok, amelyek a véges pontosságú mérések szerint hasonló viselkedésű rendszereknek felelnek meg. A dinamikai folyamat ezeknek a sokaságoknak lényegileg valószínűségeen alapuló viselkedését fogja jellemezni. Az általunk javasolt formalizmus technikailag a dinamikai rendszer azon leképezésének felel meg, amelyben a rendszer struktúrája egy félcsoport struktúrájával azonos. Más szóval, ez a formalizmus megtöri a dinamikai változás időbeli szimmetriáját, és lehetővé teszi, hogy pontosan meghatározzuk a fizikai megfordíthatatlanság jelentését.

A *posteriori* úgy tetszhet, hogy eljárásunk lényegében nem különbözik Boltzmannétól. Az ő probabilista formalizmusának az volt a célja, hogy értelmet adjon az időnyílnak. Ugyanígy, annak lehetőségét, hogy az instabil dinamikai rendszerekről valószínűségi leírás adható, mi is felhasználhatjuk ugyane időnyíl meghatározása érdekében. Ám a két eljárás között mégis hatalmas a különbség. A boltzmanni probabilista leírás egyik legnagyobb paradoxona, hogy valójában feltételezi az igazolni kívánt időszimmetria megtörését. A múlt — azaz egy valószínűtlen állapotból a hozzá vezető múltbeli helyzetek felé való haladás — irányában alkalmazott probabilista érvek arra a következtetésre vezetnek, hogy ezeknek a múltbeli helyzeteknek *valószínűbbnek* kellett lenniük. Ezen érvek alapján tehát állítható, hogy — kiindulva a jelen valószínűtlen helyzetből — a jövőbeli változás, *szimmetrikus módon*, valószínűbb helyzetek felé fog tartani, a múltban pedig éppígy, szintén valószínűbb helyzetekből kiindulva spontán módon jelenhetett meg. Vagyis egyszerre áll fenn a termodinamika második főtétele által leírt és az általa kizárt változási típus. A probabilista érvek alapján tehát nem érthető meg az időnyíl megjelenése az ehhez az időhöz képest szimmetrikusként felfogott jelenségekben. Olyan gyakorlatot előfeltételeznek, amely valójában megtöri ezt a szimmetriát, és a valószínűségeket csupán a jövő irányába tartó változások jellemzésére veszi igénybe.

Ezért csakis egy félcsoport jellegű dinamikai leképezés — mely megtöri a dinamikai változás egyenleteinek időbeli szimmetriáját — ad lényegi-belső értelmet az ilyen típusú változáshoz kapcsolt valószínűségi fogalomnak. Míg a Boltzmann-féle valószínűségek közvetlenül utaltak leírásaink megközelítő jellegére, az instabil dinamikai

rendszerek leírása lehetővé teszi e valószínűség szigorú meghatározását, mely lényegileg független a rendszerleírás pontosságától.

Ezzel összefüggésben felmerül a kérdés: milyen irányban telik a fizikai idő? Boltzmann kizárta azokat a kiindulási helyzeteket, amelyek antitermodinamikai változásokat indítanak be, mert ezeket a második főtétel, valószínűtlenségükre hivatkozva nem tette lehetővé. A klasszikus leképezés problémája azonban az, hogy a dinamikai állapotok — akár termodinamikai, akár antitermodinamikai változást indítanak be — lényegileg ekvivalensek: az időnyíl megfordítása révén az egyik megfelel a másiknak. Ez az ekvivalencia maga is megváltozik az új leképezésben, ahol is a kétfajta állapot lényegileg különbözőnek mutatkozik. Így már lehetséges meghatározni az idő irányultságát a rendszer instabil dinamikájából kiindulva. Ezt fogjuk bebizonyítani a péktranszformáció kapcsán az I. Függelékben: ebben az esetben a „megnyúló szál” definiálja a rendszer változását a jövő irányában.

A legfontosabb változás, amely az új dinamikai leképezésből adódik, kétségkívül a pillanatnyi állapot fogalmával kapcsolatos. A pálya vagy a hullámfüggvény fogalmának megfelel egy töréspont jellegű állapot fogalma, amely az idő irányával kapcsolatban semleges, s képes — lényegéből eredően szimmetrikus módon — a múlt és a jövő irányában egyaránt beindítani a változást. A dinamika (és a kvantummechanika) olyan rendszersokaságokként meghatározott új objektumainak, melyeknek megfigyelhető viselkedése megegyezik, megfelel egy olyan állapot fogalma, melynek változási iránya jól meghatározott, s múltjához és jövőjéhez eltérő kapcsolat fűzi.

Az állapot és a változás összefüggéséről alkotott klasszikus elképzelés szerint a két dolog lényegileg különemű, ami már a mozgástörvény fogalmában is benne rejlik. A rendszert egy adott pillanatban jellemző állapot minden időbeliségtől mentes, és alá van vetve egy törvénynek, mely előírja változását. Márpedig ez a különeműség maga is mesterséges. Minden állapot — kivéve az, amelyet éppen előkészítünk, s talán az Isten alkotta világ kezdeti állapota — maga is változás eredménye. Az időnyilat hordozó dinamikai állapot fogalma egységbe fegyelmezi azt, ami a klasszikus nézőpont szerint szemben áll egymással. Az állapot definíciója szerint az őt létrehozó múlthoz kötődik. Az állapot időben irányult változás eredménye, s definíciója ezt az irányultságot tükrözi.



A pillanatnyi dinamikai állapot — azaz a fizika által a pillanat fogalmának tulajdonított értelem — eme új meghatározásának váratlan fogalmi gazdagsága abból a formalizmusból származik, amely nélkülöz bármiféle hivatkozást a végtelen nézőpont lehetőségére. A klasszikus álláspont szerint a pillanatnyi dinamikai állapot teljesen független az idő irányától. Valóban — ahogyan azt „A valóságos azonosítása” című fejezetben ki is emeltük —, a pálya minden egyes állapotából levezethetők a pályához tartozó összes többi állapotok, akár a múlt, akár a jövő irányában. Ebben az értelemben a pillanatnyi állapot mint a dinamikai folyamat töréspontja — már Leibniz szerint is — egyaránt magában hordozza, *ráadásul tökéletesen szimmetrikus módon*, a múltat és a jövőt. Tehát a klasszikus dinamikai állapot felfogásában pillanat és örökkévalóság összefonódik. Ellenben az időnyíllal jellemzett dinamikai állapotban a pillanat a múlt emlékezetévé válik. Igaz, ez az emlékezet nem teljes körű, hiszen — mint minden leírás — csupán véges pontosságú információkkal dolgozik. Ennek megfelelően a pillanat lényegileg nyitott jövő felé mutat.

Arisztotelész az időt mint a mozgás mértékét határozta meg, a megelőző és a rákövetkező pillanathoz képest. De honnan származik ez a nézőpont? A mérést végző szellem vagy maga a mért dolog hozza létre? A klasszikus fizika tulajdonképpen megválaszolta az arisztotelészi kérdést, és az előbbi lehetőség mellett tette le voksát. Amikor a termodinamika második főtételével a fizikai leírások végre magukba fogadták a megelőző és rákövetkező pillanat közötti különbséget, és a döntés véglegessé vált, ez olyan szubjektivista értelmezésekre adott lehetőséget, amelyek kimondottan az emberi tevékenységet tették meg a különbségtétel okává. Ennek az alapvető döntésnek a visszavonása — mint már mondtuk — a dinamikai törvény fogalmának módosulását vonja maga után. De ha az instabil rendszerek dinamikai leképezése — amely magában foglalja megfigyeléseink véges jellegét — találkozik a fizikai valóság lényegi-belső tulajdonságaival, ha értelmet ad kérdéseinknek, különbségtételeinknek, ha lehetővé tesz új megfigyeléseket, akkor nyilvánvalóan a fizikai kölcsönhatásokról alkotott elképzelésünket kell módosítani. Mindeddig elfogadott volt, hogy — még ha mi magunk csupán véges számú tizedesjegyig vagyunk is képesek számolni — a természet nem használ közelítéseket. Tehát a klasszikus dinamika

világában a teremtő Isten hatalmát a természet örökölte. Valóban végtelen pontossággal „ismeri önmagát”. Olyan, mint holmi szörnyűséges, álomtalan múzeum, ahol a dolgok között semmilyen különbség sincsen, ahol semmilyen részleten nem akad meg a szem, s ahol a jelenben mániákusan ismétlődik a múlt. Az időszimmetriát megtörő dinamika viszont olyan világot mutat be, amelyben a pozitív értelemben végtelen pontosság fogalma nem értelmezhető. Ez a világ nem közelítésekkel, hanem különbségtételekkel dolgozik ott, ahol a klasszikus nézőpont nem tesz különbséget.

Ma az újkori tudomány első időszakának visszhangját halljuk, azét az időszakét, amelyben a tudományos fogalomalkotás és az ontológiai gondolat nem vált el egymástól. Az állapot és a változás, a pillanat és az időbeliség egyeztetésének problémája arra az időre emlékeztet, amikor Leibniz — az elégséges ok elvéből kiindulva — létrehozta azt a fajta fogalomalkotási módot, amely a fizikát mindmáig uralta. A mai fizika megalkotja azokat az eszközöket, amelyek felszabadítanak az elégséges ok járma alól, amelyek megszüntetik a „teljes-hiánytalan ok” és a „teljes-egész okozat” között fennálló egyenértékűséget, más szóval: megszabadítanak a klasszikus racionalitás Istenétől, akin kívül senki más nem rendelkezik azzal a végtelen információmennyiséggel, amelynek birtokában lehetséges az okok teljességének és az okozatok kimerítő jellegének mérése. Egyetlen tudomány sem fog soha választ adni Szent Ágoston kérdésére: „Mi az idő?” Ám az idő kérdése kapcsán folyó — a természettudományok leglényegét érintő — kutatások, amelyek az időt mint a múlt szelektív emléknymait magában hordozó, a jövő felé nyitott folyamatot határozzák meg, újra felruházza e tudományok fogalomalkotási módját azzal a filozófiai dimenzióval, amelyre joggal tarthat igényt.

Hat évvel könyvünk első megjelenése után csak megismételhetjük azt, ami *Az új szövetség* fő mondanivalója volt: a természettel folytatott párbeszéd még csak kezdeteinél tart. Látszólagos egyoldalúsága ellenére sem monológrol, hanem valódi párbeszédrol van szó. Szándékunk ugyanis nem az, hogy a természetet néma alannyá alázzuk, hanem az, hogy kimunkáljuk a feltehető kérdések jelentéstartalmát. S mint minden igazi párbeszédben, a fordulópontok azok, ahol képesek vagyunk felismerni és beépíteni a másik félrol alkotott elképzelé-

sünkbe azt, amit addig nem tarthattunk másnak, mint saját szubjektivitásunk által meghatározottnak.

Poincaré *La valeur de la science* című könyvét egy olyan gondolattal zárta, melynek végzetes szépsége előtt ma is meg kell hajolnunk: „Mindaz, ami nem gondolat, tiszta nemlét; mivel csakis a gondolatot gondolhatjuk, s mivel az összes szó, mely rendelkezésünkre áll ahhoz, hogy a dolgokról beszéljünk, csak gondolatokat fejezhet ki; azt mondani, hogy más is van, nem csak gondolat, tökéletes értelmetlenség. S mégis — különös ellentmondás azok szemében, akik hisznek az időben —, a földtörténet arra tanít bennünket, hogy az élet csupán kurta epizód két örökkévaló elmúlás között, s hogy még ez alatt az epizód alatt is, a tudatos gondolat csak múlt pillanat. A gondolat csupán villám a hosszan tartó éjszakában. De a villám a minden.”\*

Ez talán éppen azért van így, mert hiszünk az időben, s mert a természettel folytatott tudományos párbeszédre lényegileg jellemző újjítási készség ma biztosítja számunkra azokat az eszközöket, amelyekkel megkísérelhető az idő elgondolása, az emberi létezés rövidségét pedig már nem ellentmondásként éljük meg. Nem foghatjuk fel úgy a gondolatot, mint magányos monológot, melyen kívül csak a nemlét található. Mert ha a gondolat nem léphet is ki önmagából, attól még szélesre tárhatja kapuit, és képes lehet az alkotásra: a „természettörvényeknek” nevezett valami olyan elgondolásának megalkotására, amely a gondolatot — s bizony még csak az első tétova lépéseket tettük meg ebben az irányban — arra készítheti, hogy önmagát annak erőteljes megvalósulásaként ismerje föl, amit ezek a „törvények” lehetőségként megengednek.

\* H. POINCARÉ, *La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1913, 276.



## Bevezetés

### A tudomány metamorfózisa

Közhelyszámba megy, hogy milyen hatalmas utat tettek meg a tudományok a Newtontól napjainkig tartó három évszázad során. Arra viszont talán kevésbé szokásos felhívni a figyelmet, hogy mennyire megváltoztak elképzeléseink az általunk leírt természet és a leírásainkat irányító eszmény tekintetében. E könyv elsősorban ezzel foglalkozik: ahhoz képest, hogy valamikor automatához hasonlítottuk a természetet, mely mintha saját jövőjét — amiképpen múltját is — örökre szólóan meghatározó, kimért nyugalommal kibontakozó matematikai törvényeknek engedelmesskedne, manapság ettől teljesen eltérő elméleti alapállással van dolgunk. Olyan leírással, amely az embert is elhelyezi abban az általa leírt világban, amelynek jellemző tulajdonsága a nyitottság. Nem túlzás, ha ezt a fogalmi átalakulást a tudomány valóságos *metamorfózisának* tekintjük. Olyan, gyakorta a „kezdetektől fogva” élő kérdések lassú fejlődése ez, melyek szemünk láttára alakítják ma is a tudományos kérdésfeltevéseket.

Véleményünk szerint ezek a kérdések sohasem voltak tisztán tudományos jellegűek, és a tudomány metamorfózisához fűződő érdekeknek nem mindegyike kapcsolatos a tudománnyal. Érdekes módon van egy régi, az újkori tudománynál sokkal régebbi kérdés, amely egyes tudósokat mindig is foglalkoztatott: mégpedig annak kérdése, hogy milyen következményekkel járhat a tudomány létezése és a tudományos elméletek tartalma az embereknek a természetes világgal fenntartott kapcsolataira. Önmagában a tudomány mint olyan ugyan nem válthatja ki ezeket a következményeket, de azok mégis szervesen hozzátartoznak a tudomány metamorfózisának történetéhez. S ezen nem is lehet csodálkozni. A tudomány része annak a kulturális együttesnek, amelyből kiindulva minden nemzedék megkísérli, hogy megteremtse a szellemi egység valamely új formáját. És megfordítva: ez az egység minden korban keretétül szolgál a tudományos elméletek

fogadtatásának, megszabja az általuk kiváltott visszhangot, és hatással van azokra az elképzelésekre, amelyekbe a tudósok beillesztik tudományáguk eredményeit, s amelyek szerint kutatásaikat továbbfejlesztik. A metamorfózis, melyet le szeretnénk írni — elméleti tartalmán túl — megújítja az embereknek a természettel fenntartott kapcsolatairól és a tudományról mint kulturális gyakorlatról alkotott elképzeléseit.

Hogy világosabban rámutassunk ezekre a különböző szempontokra, szeretnénk idézni azt a rendkívül lényeglátó megállapítást, melyet Jacques Monod tett nemrégiben, amikor a molekuláris biológia elméleti eredményeit kívánta összegezni: „A régi szövetség megroppant; az ember ma már tudja, hogy egyedül van a Világegyetem közönyös végtelenségében, ahonnan valamikor egy véletlennek köszönhetően előbukkant.”<sup>1\*</sup> Meg fogjuk mutatni, hogy amikor Monod erre a következtetésre jutott, nem csupán a mai biológia bizonyos eredményeinek egyik lehetséges értelmezését fogalmazta meg, hanem egy jóval tágabb elméleti együttesét is, melyet mi „klasszikus” tudománynak fogunk nevezni. Ez a tudomány három évszázados fennállása alatt mindvégig azt tartotta, hogy az ember idegen az általa leírt világban. Pedig ebben joggal láthatunk paradoxont. Mint ahogy Monod-nál is, aki ragyogó eredményekről számol be ugyan, de előadását megrendítőnek látszó megjegyzéssel zárja. A molekuláris biológia megfejtette a gének nyelvét, mely egyesek szerint az élet titkát rejti magában. Ezzel olyan sikert ért el, mely igazolja a tudományos tevékenységnek tulajdonítható legmélyebb jelentést: próbálkozás arra, hogy a természettel kommunikáljunk, s hogy e kapcsolatból megtudjuk, kik vagyunk és milyen szerepet játszunk fejlődésében. S most ez a termékeny kapcsolat hirtelen magányos lényekké, a Világegyetem perifériáján kóborló cigányokká tesz bennünket. Ebben az összefüggésben szeretnénk elhelyezni a tudomány metamorfózisát. A klasszikus tudomány kontextusa ez, melynek sikerei olykor megrendítőnek bizonyultak, s ma már nem ismerjük el a mi tudományunknak. Vizsgáljuk meg most közelebbről ezt a klasszikus tudományt, hogy megértsük az összefüggést elméleti tartalma és az „emberről”, valamint a tudományos gyakorlatról adott értelmezése között.

\* A jegyzetek a kötet végén találhatók.

Azt mondtuk, hogy a tudományt úgy is leírhatjuk, mint kísérletet a természettel való kommunikációra, arra, hogy olyan párbeszédet folytassunk vele, melyből lassan kibontakoznak a kérdések és a válaszok. Ezt a leírást még tovább kell finomítanunk, mert nem derül ki belőle, hogy melyek a — klasszikus vagy nem-klasszikus — tudomány sajátosságai. Hiszen az emberek mindenkor igyekeztek kifürkészni a természet dolgait, megpróbálták megfejteni állandóságának és a folyamatát olykor megbontó eseményeknek a titkát. Mi módon különböztethető meg a mai tudós a mágustól vagy a varázslótól, netán — túllépve az emberi társadalmak határain — a baktériumtól, amely ugyancsak fürkészi a világot, és szüntelenül ellenőrzi, hogy jól fejtette-e meg a kémiai jelzéseket, amelyek alapján tájékozódik?<sup>2</sup> Hogyan jellemezhetnénk azt a párbeszédet, amelynek fonalát az újkori tudomány három évszázada felvette?

Végeredményben azt mondhatjuk, hogy az újkori tudomány párbeszéde egy réges-régi vállalkozás meg-megújuló folytatása, s egyben felhívás is új kalandra. Erre a későbbiekben még visszatérünk, de már most kijelentjük, hogy Alexandre Koyré nyomdokain haladunk, aki szerint az az eredeti gyakorlat, amelyet újkori tudománynak nevezünk, *a kísérletes párbeszéd*en alapul.

A kísérlet párbeszéde az ember-természet viszony két alapvető dimenziójára utal: a *megértés* és a *módosítás* szándékára. A kísérlet nem csupán az önmagukban vett tények valóság-hű megfigyelése vagy a jelenségek közti empirikus kapcsolatok utáni kutatás. A kísérlet kölcsönhatást követel meg az elmélet és a gyakorlati ténykedés között, ami valóságos stratégia kiépítését igényli. Úgy kell vizsgálunk egy természetes folyamatot, mint egy elméleti hipotézis lehetséges kulcsát, s mint ilyet készítjük elő, tisztítjuk meg, mielőtt az elmélet nyelvén vallatóra fognánk. Szervezett vállalkozás ez, mely nem más, mint a természettel szembeni erőfitogtatás, mert kiköveteljük tőle, egyértelműen mondja meg, hogy a szóban forgó elmélet szerint működik-e avagy sem.

A tudomány emberei ezerféleképpen mesélték már el ezt a varázslatot: a „jó” kérdés megtalálásának örömét, amikor a szétszórt elemek összeállnak, s a rendezetlenség a zárt logikának ad helyet. Mindnyájan olvastunk ilyesfajta elbeszéléseket erről vagy arról a nevezetes felfedezésről, ám minden egyes kutató, aki kifürkészett már holmi kisebb csalafintaságot vagy nagyobb titkot, maga is részese

ennek a tapasztalatnak. Ebben az értelemben a tudomány úgy írható le, mint egy kétszereplős játék, melyben a rajtunk kívül álló valóság viselkedését kell kitalálni, s ez a valóság nem engedelmeskedik sem hiedelmeinknek, sem vágyainknak, sem reményeinknek. A természetnek nem lehet *mindent* a szájába adni, amit csak akarunk, s mivel a tudomány nem monológ, mivel a vizsgált „tárgy” képes a legvalószínűbbnek tetsző vagy legcsábítóbb hipotézisre is rácsafolni, vagyis mivel a játék kockázatos, éppen ezért lesz ritka és mély élmények forrása.

De a mai tudomány különössége egyáltalán nem merül ki ezekben a stratégiai megfontolásokban. Még a tudományos racionalitás normatív leírásával megpróbálkozó Karl R. Popper is kénytelen volt elismerni, hogy a racionális tudomány végeredményben *sikerének* köszönheti létét: a tudományos eljárás mód azért gyakorolható, mert lényegi, közös pontokat fedez föl elméleti hipotéziseink és a kísérleti eredmények között.<sup>3</sup> A tudomány némileg kockázatos játék, de úgy látszik, sikerült olyan kérdéseket feltennie, amelyekre a természet összefüggő választ ad, s olyan elméleti nyelvezetet kialakítania, amely számos folyamat megfejtését elősegíti. A tudomány sikere *történelmi tény*: *a priori* ugyan nem volt megjósolható, de megkerülhetetlen, mihelyt megtörtént, mihelyt egy adott kultúrában ez a fajta különös kérdésfeltevés rejtjelkulcsként működik. Mihelyt eljutott erre a pontra, az újkori tudomány sikere a természettel fenntartott kapcsolataink visszafordíthatatlan megváltozását eredményezte. Ebben az értelemben beszélhetünk *tudományos forradalomról*.

Az emberi történelem más egyedi eseményeket, más olyan „körülmenyek összejátzását” is ismeri, melyek visszafordíthatatlan változásokhoz vezettek. Ezeket nevezi Monod *választásnak*, olyan, meglehet, nem szükségszerű irányváltásnak, amely azonban mégis végleges átalakuláshoz vezet abban a világban, ahol megtörtént.<sup>4</sup> Az, amit az *újkorszak forradalmának* neveznek, valószínűleg ilyen választás volt. A tudományos forradalom esetében megadatott nekünk, hogy átéljük döntő pillanatait, tanulmányozhassuk genezisét. A tudományos és technikai tevékenységek „elvilágiasodásának” története ebben az értelemben a biológiai és társadalmi fejlődést meghatározó folyamatok egyik legjobban dokumentált példája: egy átalakulás kezdete és fejlődése, a véletlen és a szükségszerűség ama elegyével párosulva, amely történelmi léptéket ad neki.



Ezzel visszaérkeztünk a bevezetést nyitó kérdésekhez. Hogyan jellemezhető az az irányváltás, az a „választás”, amelyet „tudományos forradalomnak” neveztek el? Néhány jellemzőjét megpróbáltuk kiemelni, belehelyezve a megismerő tevékenységek együttesébe, s ez lehetővé tette, hogy elkülönítsük a baktérium, illetve a kémiai környezet általa végzett felderítésének esetétől. A klasszikus dinamika első sikereit (I. fejezet) inkább ténynek, semmint egy teljesen új racionalitás következményének tekintjük. Néhányan más kiindulópontot választottak: az újkori tudomány megszületésében egy új kultúra létrejöttét ismerték fel, melynek semmi köze a keretül szolgáló és őt megelőző kultúrához, ideértve a művészeteket, az erkölcsöt, a politikát. De bármilyen értelmezésről van is szó, tárgyát mindig ugyanazok a „sikerek” alkotják. S ezeknek a sikereknek megvan az a paradox tulajdonságuk, melyet már említettünk: kialakulásakor a tudomány eredményesen tett fel olyan kérdéseket, amelyek halott és tétlen természetet tételeztek föl. A XVII. századi ember próbálkozása, hogy kommunikáljon a természettel, arra a következtetésre vezetett, hogy a beszélgetőtárs ijesztően ostoba. Sokan hitték azt, hogy fel kell vállalniuk ezt a paradoxont. Az újkori tudomány első sikereiben a végre racionális megközelítés diadalát látták, s a tudomány által „felfedett” magányt úgy tekintették, mint azt az árat, amelyet ezért a racionalitásért fizeteniük kell. Az első sikerei felől értelmezett újkori tudomány — *vagyis a klasszikus tudomány* — úgy látszott, választásra kényszerít: vagy elfogadjuk, hogy az ember alapvetően idegen a világtól, vagy lemondunk a természettel folytatott párbeszéd egyetlen termékeny módjáról.

Rettenetes dilemma volt ez. Az újkori tudomány megfagyasztotta a vért ellenfeleiben, akik elfogadhatatlan és fenyegető vállalkozásnak látták, de pártolóiban is, akik olyan hősieks kutatásokba fogtak, melyek vállalása embert próbáló elhatározást igényelt. Szerintünk ez a dilemma a klasszikus tudomány csalóka bizonyosságaiából és zártságából következik. Könyvünkkel azt szeretnénk elősegíteni, hogy ennek az önáltatásnak vége szakadjon.

A újkori tudomány a régebbi világképek és azon kérdések jogosultságának *tagadásával* kezdődött, amelyekkel az emberek a természethez fűződő viszonyukat firtatták. Útjára indította a tapasztalaton alapuló párbeszédet, de ezt olyan előfeltételezések és dogmatikus állítások alapján tette, amelyek megakadályozták, hogy a kérdésfeltevés

eredményei (és különösen az azokat övező „világlátás”) a többi kulturális együttes számára is elfogadhatóak legyenek, közéjük értve azt is, amelyik létrehozta őket. Az újkori tudomány egy kultúra termékeként jött létre, szemben e kultúra bizonyos uralkodó nézet-rendszereivel (különösen az arisztotelianizmussal, de a mágiával és az alkímiával szemben is). Akár azt is mondhatnánk, hogy a természet ellenében jött létre, hiszen — egy örökkévaló és megismerhető, kisszámú egyszerű és változatlan törvény által szabályozott világ nevében — tagadta annak bonyolult voltát és fejlődését.

Az a gondolat, hogy a természet valamiféle „automata”, melynek viselkedését az ember számára a racionális mechanika kialakított eszközeivel megközelíthető törvények szabályozzák, természetesen merész választás volt. Szenvedélyes lelkesedést és szintúgy szenvedélyes elutasítást váltott ki. Nyilvánvalóvá tette — s ezt többé nem lehetett megkerülni —, hogy matematikai törvényeket ténylegesen fel lehet fedezni. A newtoni tudomány valóban nyomára jutott egy olyan egyetemes törvénynek, mely egyformán érvényes az égitestekre és a földi világra. Ugyanazon törvénynek engedelmessé hulla a Föld felé a kavics és keringenek a Nap körül a bolygók. Ez az első siker azóta sem vesztett érvényéből. Nagyszámú jelenség leírható egyszerű és matematikai formába önthető törvényekkel. Így azonban — a tudománynak köszönhetően — az a *látszat* keletkezett, mintha a természet nem lenne több alázatos automatánál. Csábító és merész hipotézisből „szomorú” valósággá lett. Ezentúl a tudomány minden egyes sikere éppen azok aggodalmait és elidegenültség-érzetét fogja erősíteni, akik bíznak benne és összefüggő természetképet próbálnak rá alapozni. A tudomány mintha a természet ostobaságának megállapításánál kötött volna ki.

Ám a mai tudomány már nem azonos a „klasszikus” tudománnyal. Azok az alapfogalmak, amelyeken a „klasszikus világfelfogás” nyugodott, az elmélet fejlődésének mai fokán már nem érvényesek, s nem is tétováztunk, hogy ezt a folyamatot metamorfózisnak nevezzük el. Az az elképzelés, amely a természeti folyamatok összességét kisszámú törvényre szerette volna visszavezetni, maga sem él már. A mai természettudományok minőségi eltérésekben és lehetséges meglepetésekben gazdag, töredékes univerzumot írnak le. Felfedezzük, hogy a természettel folytatott racionális párbeszéd nem egy holdbéli táj kiábrándult leírásában merül ki, hanem az

összetett és sokszínű természet mindig korlátozott érvényű és válogatáson alapuló feltáráásával egyenértékű.

A tudomány és a „világ varázstalanítása” nem azonos jelentésű fogalmak. Ebben a megközelítésben lehetővé válik a klasszikus tudomány sikereinek újraértelmezése, s annak megmutatása, hogy e sikerek miképpen erősítették és szilárdították meg a tudomány *kulturális sajátosságait* az első lépések megtételekor, míg végül e sajátosságok az egyetemes racionalitás megannyi követelményeként jelentek meg.

Hogyan írhatnánk le pontosabban ezt a „metamorfózist”? Először is észre kell vennünk, mennyire átalakult a természettudományok tárgya. Már nem olyan idők járnak, mint amikor a változatlan jelenségekre irányult a figyelem. Már nem a stabil állapot és az állandóság érdekel bennünket elsősorban, hanem az állapot megváltozása, a válságok és az instabilitás. Többé nemcsak azt akarjuk tanulmányozni, ami megmarad, hanem azt is, ami átalakul: a földtani és éghajlati kataklizmákat, a fajok fejlődését, a társadalmi viselkedésmódokban szerepet játszó normák létrejöttét és megváltozását.

Mondhatnánk, új naturalizmus van születőben: az ipari társadalmak szeretnék jobban megérteni önmagukat azáltal, hogy kérdőre vonva a korai társadalmak tudásanyagát és gyakorlatát, górcső alá veszik az állattól az emberig ívelő fejlődés problémáit, és megfigyelik az állati társadalmakat. A molekuláris biológia hozzájárulása — több más meglepő tény mellett a genetikai kód egyetemes voltának felfedezésével — alapvető volt abban, hogy rájöttünk: az ember a természet része.

Ám ez az átalakulás az egyik vetülete csupán a tudomány újkori megújulásának, s önmagában nem elegendő a metamorfózis előidézéséhez. Először is vegyük észre, hogy a fenti megfontolások — ilyen vagy olyan formában — végül is mindig jelen voltak. Másodjára nem lehet figyelmen kívül hagyni azon fogalmak tovább élő — kulturális és elméleti — jelentőségét, amelyek az általunk klasszikusnak nevezett tudomány alapját alkotják. Jacques Monod következtetései ebből a szempontból ékesszóló példával szolgálnak: a sejtműködés bizonyos meghatározó mechanizmusainak felfedezése, logikájuk leírása, a létükhöz elvezető evolúciós folyamatokat megfogalmazó hipotézisek, mielőtt a klasszikus világkép keretében helyezi el őket, nyomban a tőle idegen világban élő ember magányosságának gondolatát ébresztik a tudósban.

Láttuk, hogy kevés eseményt hangsúlyoztak annyira a tudomány-történetben, mint a mechanisztikus világkép végét. Ez pedig azt jelenti, hogy kevés újjászületés ismétlődött meg annyiszor, mint a mechanika főnixéé. Valóban, a múltban csakúgy, mint a jelenben, a klasszikus fogalmak hozzájárultak az elméleti újítások tétjének és jelentőségének felismeréséhez, középpontjába kerültek a természet és a különböző leírási módok határait firtató vitáknak, és — teljes ártatlansággal — újra megjelentek még azon elméletek középponti magjaként is, amelyek, mint például a kvantummechanika, szerették volna meghaladni őket. A klasszikus fogalmaknak ez a kulturális súlya kockázattal is jár. Említettük már, hogy a klasszikus tudomány kitermelte világkép, úgy látszik, választásra kényszerít minket a tudomány által látszólag ránk erőltetett elidegenítő következtetések elfogadása és a tudományos megközelítés elutasítása között. A klasszikus tudomány tehát ingatag módon illeszkedik a kultúrába: egyszerre vált ki lelkesedést, a racionalitás kemény következményeinek hősies igenlését, és elutasítást, sőt irracionális viszonyválaszokat.

A továbbiakban utalni fogunk korunk úgynevezett *tudományellenes* áramlataira is, amelyek híven jellemzik ezt a helyzetet. Hadd emlékeztessünk itt annak az irracionális áramlatnak a színjátékára, amely a húszas évek Németországában a kvantummechanika kulturális közegéül szolgált.<sup>5</sup> A hivatalos tudománnyal ellentétben, amelyhez az *okság, törvényszerűség, determinizmus, mechanika, racionalitás* fogalomgyűttese társult, felbukkant egy, a klasszikus tudománytól idegen fogalomkör. Az *élet, sors, szabadság, spontaneitás* így emelkedtek ki azokból a borzongató mélységekből, amelyek nem akarták alávetni magukat az ész vizsgálódásának.

Ha nem szólnak is többet arról a különleges társadalmi-politikai közegről, amely megadta szilárd és életképes jellegét, a racionális tudománynak ez az elutasítása tanulságosan szemlélteti azt, amit a klasszikus tudománnyal járó kockázatról mondtunk. A klasszikus tudománynak, amely semmilyen helyet nem juttatott annak, ami a szabadság, sors, spontaneitás nevével összefogva egyes emberek számára roppant jelentős tapasztalathalmazra utal, látnia kellett, hogy ezek a fogalmak irracionális válaszok kiindulópontjaivá válnak, félelmetes intellektuális erőt kölcsönözve nekik.

Szabadságot és spontán tevékenységet emlegettünk. E fogalmak a könyvben mindvégig fel-felbukkannak majd. Meg szeretnénk magya-

rázni, hogy a klasszikus tudománynak miért kellett süketnek maradnia az általuk felvetett kérdésekre. Meg fogjuk mutatni, hogyan tűnnek fel újra meg újra ezek a fogalmak egyes fizikai elméletekben, melyek most már a törvényszerűség, a determinizmus és az okság fogalmi köré *szervezik* őket. Kétségtelenül jelképe ez mindannak, amit a tudomány metamorfózisán értünk: új elméleti tér nyitása, *amelyben* beilleszkednek bizonyos oppozíciók, melyek azelőtt a klasszikus tudomány *határait* jelezték. De ezen a téren belül jelentkeznek a fizika tárgyai közötti s mindenekelőtt a konzervatív és disszipatív rendszerek közötti belső különbségek is. Természetesen nem arról van szó, hogy a tudomány ezentúl képes volna eldönteni, mi is a helyzet az emberi szabadsággal. Az azonban bizonyos, hogy a determinisztikus és meddő természet gondolata önmagában is hozzájárult a szabadsággal kapcsolatos eszmék némelyikének kialakulásához kultúránkban.

Melyek a klasszikus tudománynak azok az előfeltevései, amelyek-től szerintünk a tudomány mára eltávolodott? Azt mondhatjuk, hogy ezek a következő középponti meggyőződés köré szerveződnek: a *mikroszkopikus egyenlő az egyszerűvel*, s egyszerű matematikai törvényeknek engedelmessé válnak. A tudomány feladata ebből következően az, hogy meghaladja az összetett látszatokat, s a természeti folyamatok sokféleségét (legalábbis elvben) visszavezesse e törvények hatás-együttesére. A tudományos célkitűzéseknek ez a felfogása együtt jár a különbségtétellel aközött, ami a természetben feltehetően megfelel az „objektív” valóságnak, és aközött, ami illuzórikusnak, saját szubjektivitásunkhoz kötöttnek tűnik fel. Valójában az egyszerű matematikai törvények, amelyeknek hitünk szerint az elemi szintű mozgásformák engedelmessé válnak — s amelyek ilyenképpen a Világegyetem végső igazságát alkotnák —, majdnem mindig a dinamikus törvények általános modellje szerint épülnek fel. Márpedig látni fogjuk, hogy ezek a törvények determinisztikus és megfordítható mozgáspályák formájában írják le a világot. Az előbbiek tehát nemcsak a szabadság vagy az újítás lehetőségét vetik el, hanem azt is tagadják, hogy bizonyos folyamatok, mint például a gyertya égése vagy az állat öregedése, lényegükből fakadóan visszafordíthatatlanok. Az, hogy ami egyszer megtörtént, nem fordítható vissza, hogy a gyertya nem képes „visszaégni”, az állat visszafiatalodni, ezek szerint csupán viszonylagos igazság, melyet vizsgálati eszközeink tökéletlensége erőltet

ránk, nem pedig az örökkévaló, konzervatív világ „objektív törvényei”.

A mikroszkopikus szféra egyszerűségének tétele már ötven évvel ezelőtt — a kvantummechanika megjelenésével — tarthatatlanná vált. Tudtuk, hogy az atomokhoz és a molekulákhoz csak műszereink közvetítésével férhetünk hozzá, amelyek mind makroszkopikusak, és azt is tudtuk, hogy elméleteinket ez a közvetítés lényegileg határozza meg. Ám a kvantummechanikában ez a tudás csupán nemleges ismeretként volt jelen. Ma már nem ez a helyzet. Felfedeztük, hogy az irreverzibilitásnak a természetben alkotó szerepe van, hiszen spontán szerveződési folyamatokat tesz lehetővé. A fizikán belül az irreverzibilis folyamatok tudománya visszaállította jogaiba a tevékenység és önszaporító struktúrákat létrehozó természet gondolatát. Másfelől ma már azt is tudjuk, hogy — akár a klasszikus dinamikáról van szó, akár a bolygók mozgásáról — a mindentudó mitikus démon, amelyről azt tartották, hogy képes a pillanatnyi állapotból kiindulva kiszámítani a jövőt és a múltat, nem létezik többé. Ismét olyan világban találjuk magunkat, amelyben a kiiktathatatlan véletlenszerűség az úr, olyan világban, amelyben a megfordíthatóság és a meghatározottság csak kivételes eset, s ahol a mikroszkopikus megfordíthatatlanság és meghatározatlanság a fő szabály.

Könyvünk a tudománynak ezt a fogalmi metamorfózisát tárgyalja a klasszikus tudomány aranykorától a jelenlegi nyitásig. Nem enciklopédia, s nem is ismeretterjesztő mű. Keveset vagy semmit sem fogunk mondani lenyűgöző elméleti alkalmazásokról, mint amilyen az asztrofizika vagy az elemi részecskék tudománya. A relativitás elméletét is csak sajátos szemszögből fogjuk tárgyalni. Néhány általános gondolatra fogunk összpontosítani, amelyek ideig-óráig vagy uralkodó szerepre tesznek szert a tudományban, vagy elvetik őket. Célunk, hogy ily módon egy bizonyos szemszögből végiggondoljuk a tudományfejlődés három évszázadának jelentőségét, és elmondjuk, hogyan vált a klasszikusnak mondott nyugati kultúra gyermekeként a tudomány fokozatosan, bonyolult történelmi folyamat során olyanira nyitottá, hogy képes lett különböző természetű kérdésfeltevéseket magába foglalni.

Sok, talán túlfent is sok helyet szenteltünk egyes, hozzánk közel álló elméleti területeknek. Nem csupán a nézőpont problémájáról van itt szó, hanem egyik középponti állításunk alkalmazásáról is, mely

szerint az adott kultúrát jellemző problémák hatással lehetnek a tudományos elméletek tartalmára és fejlődésére. Ez az állítás egyikünk esetében saját személyes tapasztalatban gyökeredzik. A problémát, amelyre egész tudományos pályafutása alatt megoldást igyekezett találni — az idő problémája a természet összetett jellegével való kapcsolatában — egy tisztán kulturális eredetű igény vetette fel, az, amelyet Bergson így fogalmazott meg: „az idő vagy feltalálás, vagy egyáltalán semmi.” Az újabb megfontolások, melyeket alkalmunk lesz kifejteni (VI. és IX. fejezet), a válasz kezdetét jelentik ebben az irányban egy olyan kérdésre, melynek a kulturális környezet számára sürgető volta lehetővé tette, hogy a szükséges elméleti és technikai eszközök segítségével kibontakozhassék. Bergson bejárta a klasszikus tudomány *határvidékét*. A válaszok vagy válaszkezdemények, melyeket be fogunk mutatni, a klasszikus tudomány határain *túlra* vezetnek bennünket. Már Bergson is hangsúlyozta, hogy az első mechanikai elmélethez kezdve Einstein relativitáselméletéig (s hozzátehetnénk, a kvantummechanikáig) idő és tér, idő és mozgás oly szorosan összefonódtak, hogy már-már össze is keveredtek. Márpedig napjainkban a fizikai idő *újralfedezésének* vagyunk tanúi, s azt gondoljuk, hogy ez az újralfedezés nem csupán a tudományos elméletek belső logikájából ered, hanem azokból a kérdésekből, amelyekről el kellett *dönteni*, hogy továbbra is feltesszük-e őket, amelyekről ki kellett mondani, hogy a természet megértését célul kitűző fizika nem felelkezhet meg róluk.

Talán meglepő, milyen sokat foglalkozunk könyvünkben a klasszikus dinamikával. A dinamika szerintünk a legalkalmasabb viszonyítási pont ahhoz, hogy megértsük a mai tudomány átalakulását. A mikroszkopikus szintű mozgásformák jelenleg elfogadott elmélete, a kvantummechanika természetesen felvet új problémákat, melyekről a dinamika nem tudhatott. De maga is megtartotta a dinamika egyes fogalmi kiindulópontjait, különösen ami az időt és a változást illeti. Másfelől az újabb elméletek, melyekről beszámolunk könyvünk végén, ugyanúgy érvényesek a klasszikus dinamikára, mint a kvantummechanikára.

Talán e teóriák kapcsán a legnagyobb a távolság könyvünk és egy ismeretterjesztő mű között. Alakulóban lévő elméletekről lesz ugyanis szó, egyes eredményeiket még nem tették közzé. Nem a tudomány végleges eredményeit, szilárd és jól megalapozott hozadékát óhajtjuk

előtérbe állítani. Nem a megmerevedett, diadalmas tudomány tekintélyt parancsoló épületét szeretnénk bejárni az olvasóval, hanem az alkotó tudományos tevékenységet, valamint az általa teremtett új távlatokat és új problémákat szeretnénk kiemelni. Azzal is tisztában vagyunk, hogy ma még csak az út elején tartunk. Az egyetemes elméleti szintézisre a fizika egyetlenegy területén sem fogunk rábukkanni valamelyik eredmény mögött. A kétely és a kockázat soha nem fog eltűnni. Nem volt hát okunk a várakozásra, hiszen a holnap sem ígér több biztonságot a mánál. Vállaltuk, hogy a dolgokat jelenlegi állapotukban mutatjuk be, nem felejtván el, hogy válaszaink mennyire töredékesek, s mennyi előreláthatatlan problémát vetnek fel jelenlegi elméleteink. A tét fontossága, úgy gondoljuk, igazolja döntésünket.

Egy utolsó megjegyzés még: néhányan nyilván úgy érzik majd, hogy könyvünk túlságosan „nehézkés”, hogy bizonyos témák talán nem voltak feltétlenül szükségesek mondanivalónk kifejtéséhez. Valóban, nem is igyekeztünk tanulmányunkat műszaki pontossággal kivitelezni. Jelenleg nem létezik semmiféle kanonikus szabály arra nézve, hogyan beszéljünk a tudományról. Mindössze azt tudjuk, hogy azok, akik megpróbálták „megtisztítani” ezt a témát, és el akarták felejtetni, hogy a tudományos tevékenység leírása nem választható el erőszaktétel nélkül annak a világnak a leírásától, amelyhez hozzátartozik, elfogadhatatlanul nagy árat voltak kénytelenek fizetni kísérletükért. Az is szándékunkban állt természetesen, hogy könyvünk a rendezetlenség helyett a nyitottság benyomását keltse; szerettük volna menet közben felhívni a figyelmet egy-egy témánkhoz tartozó problémára, tudva tudván, hogy nem vagyunk képesek ítéletet mondani róla. Azt szerettük volna, ha a könyv magán viseli sok kényszerű választásunk nyomát, s ha ily módon is kiviláglik belőle a tudománynak a társadalomban elfoglalt helyéről való teljesebb gondolkodás szükségessége.

Könyvünk három részből áll. Az első a klasszikus tudomány diadalmenetét és diadalának kulturális következményeit írja le. Felváltottuk, hogy ennek során milyen elméletek és fogalmak kerültek uralkodó helyzetbe. Látni fogjuk, hogy a tudományt eleinte lelkesedés fogadta: lelkesedés a megvalósult eredményekért, lelkesedés a jövő fejlődésben rejlő ígéretekért. Majd azt is látni fogjuk, hogyan váltotta fel a lelkesedést a zavar, a nyugtalanság és az ellenségesség. Azt is meg fogjuk mutatni, hogy a klasszikus tudomány



léte és jelentős sikerei idővel gondot okoztak, melyek körül a kultúra polarizálódott: el kell-e fogadnunk e sikereket, még ha határt szabunk is nekik, avagy éppen ellenkezőleg, ki kell mondanunk, hogy a tudományos módszer részrehajló és csalóka? E két magatartás ugyanahhoz az eredményhez vezetett, amelyet a „két kultúra”, a humán és a természettudományos kultúra összeütközésének neveztek el.

Ám miközben a klasszikus tudomány diadalát ülte a XIX. század elején, amikor a newtoni napirend uralta az akkor Európa élvonalában lévő francia tudományt, már megjelentek az első repedések is a newtoni építmény falán. Könyvünk második részében végigkísérjük a hő tudományának fejlődését attól a fordulóponttól kezdve, amikor Fourier matematikailag megfogalmazta a hőterjedés törvényét. A rá következő események megmutatták, hogy a kihívás nagyobb horderejű volt, mint ahogy azt egy, a mozgás newtoni elméletétől pusztán idegen matematikai törvény megfogalmazásának tényéből gondolhatnánk. Valójában valami olyasminek született meg az első matematikai leírása, ami a dinamika számára elfogadhatatlan volt: az irreverzibilis folyamatoké.

A hő tudományának két örököséből, az energiaátalakulás és a hőerőgépek tudományából — mindkettő még a klasszikus modell szerint épült fel — született meg az első nem-klasszikus tudomány, a termodinamika. Amint gyakorta mondják, a termodinamika vezette be a fizikába az „időnyíl” fogalmát.<sup>6</sup> Végigkövetjük majd útján a termodinamikát jelenkori fejlődéséig, a spontán szerveződési folyamatok és a *disszipatív struktúrák* felfedezéséig, melyek létrejöttében elválaszthatatlanul összekapcsolódik a véletlen és a szükségszerűség. A fizika újra tárgyának tekinti azt, amit a klasszikus tudomány az elemi mozgásformák visszafordíthatóságának nevében tagadott: a struktúra, a funkció és a történelem fogalmát.

Ettől fogva a két elméleti építmény között feszülő ellentmondás, melyet a XIX. század végén már felismertek, tűrhetetlenné válik. Nem fogadható el többé olyan megoldás, mely az irreverzibilitást illúzióknak vagy egy megközelítő leírás eredményének bélyegzi: az irreverzibilitás rendteremtő erő, szerveződést kiváltó energia. Két tudomány ugyanazon világ értelmezésére: ez könyvünk harmadik, kétségkívül legszaktudományosabb részének témája. A XX. századi fizika fogalmi és technikai megújulása — mely a relativitáselmélet és főleg a kvantummechanika által bevezetett operátor- és komplementa-

ritásfogalomnak köszönhető, nem feledkezve meg a klasszikus dinamikai elméletek kevésbé ismert eredményeiről sem — tette lehetővé számunkra, hogy felmérhessük annak az örvénynek a mélységét, amely korábban áthatolhatatlannak látszott. Igyekeztünk enyhíteni a fejtegetések technikai jellegén, de erre mégis szükség volt ahhoz, hogy új fogalmakat vezethessünk be a kétértelműség kizárására törekvő nyelvezetbe. A sietős olvasó a záró részekben találni fog egy könnyen érthető kommentárt, mely a szóban forgó fogalmi megújulás kérdésében igazítja el.

A klasszikus tudomány természetesen nem kényszerítette ki, de azért lehetővé tett bizonyos illúziókat. Ezek ma már nem tarthatók. Különösen nincs jogunk azt állítani, hogy a tudomány egyetlen méltó célkitűzése a világ felfedezése abból a külső nézőpontból, amely a klasszikus tudomány értekezéseiben állandóan ott kísértő démonok kiváltsága. Mint majd látni fogjuk, legalapvetőbb elméleteink ma már olyan emberek nevéhez fűződnek, akik benne élnek az általuk kutatott világban. Ebben az értelemben a tudomány tehát felhagyott az elméleti „területenkívüliség” minden illúziójával;<sup>7</sup> ilyesfajta igényekkel ma már csakis a hagyomány és a bizakodás nevében lehet fellépni. Véleményünk szerint azonban létezik még egyfajta területenkívüliség, melyről a tudománynak le kell mondania, ez pedig a kulturális területenkívüliség. Sürgető igény, hogy a tudomány önmagát azon kultúra szerves részeként ismerje föl, amelyben fejlődik.

Erwin Schrödinger azt írta egy napon — számos tudományfilozófus felháborodását váltva ki ezzel —, hogy „...sokan hajlamosak elfeledkezni arról, hogy a tudomány egésze általában véve a humán kultúrához kötődik, és a tudományos felfedezéseknek, még azoknak is, amelyek egy adott pillanatban a leghaladóbbnak, legezoterikusabbnak és legnehezebben érthetőnek tetszenek, nincs kulturális közegüktől független jelentésük. Az az elméleti tudomány, amely nincs tudatában annak, hogy az általa lényeginek és fontosnak tartott fogalmaknak maguknak is az lesz a sorsuk, hogy olyan kifejezésekben és szavakban öltenek testet, melyek jelentést hordoznak az őket értő művelt közönség számára, s beleíródnak a világról alkotott általános képbe, az az elméleti tudomány — ismétlem —, amely minderről elfeledkezik, és amelynek beavatottjai továbbra is azt a nyelvet használják, amelyet a legjobb esetben is csak kisszámú beszélgetőpartner ért meg, szükségszerűen elvágja magát a kulturális

közösség többi tagjától..., elnyomorodásra és megcsontosodásra ítéltetett.”<sup>8</sup>

E könyv egyik legfőbb állítása, hogy a kultúra által felvetett kérdések és a tudománynak e kultúrán belül végbemenő fogalmi fejlődése között erős kölcsönhatás áll fenn. Állandóan felmerülő problémákra fogunk bukkanni a tudomány legbelsejében, amelyekről tudjuk, hogy minden nemzedék saját felfogásában értelmezi őket, és amelyekre saját válaszokat is adnak, egyképp hozzájárulva ezzel a tudomány és a filozófia történetéhez. Reméljük, ily módon sikerülni fog néhány elemmel gazdagítanunk a tudomány és a kultúra közötti kölcsönhatásról való gondolkodást, melynek egyidejűleg kell elfogadnia a kultúrával kapcsolatos felvetések fontosságát — az elméleteknek mind létrejöttét, mind értelmezését tekintve — és azon elméleti és technikai kényszerek sajátos jellegét, amelyekről e felvetések tényleges történelmi érvényessége függ.

Tudjuk, hogy egyes filozófusok a tudomány fejlődését a szakítás, törés, tagadás fogalmaival ragadták meg, mondván, hogy a tényleges tapasztalat meghaladásáról van szó az egyre sivárabb elvontság irányában. A mi elképzelésünk szerint csupáncsak azt a történelmi helyzetet írták le, amelyben a klasszikus tudomány volt, amikor — mert képtelen volt magába illeszteni őket — tagadta az ember - világ kapcsolatról szerzett tapasztalat felvetette „legnyilvánvalóbb” kérdéseket. Ám ez a filozófiai „értelmezés” — amennyiben *igazolt* egy *ténybeli* állapotot — hozzájárult ahhoz, hogy elrejtse szem elől a következő tény: a tagadott kérdések attól, hogy törvénytelennek nyilvánítottak, még nem tűntek el. Jórészt makacs jelenlétüknek köszönhető, hogy a tudományos fejlődés elvesztette lendületét, és sebet üthettek rajta az első pillantásra kisebb jelentőségű nehézségek is. A klasszikus tudomány által tagadott kérdések aknamunkája tette képessé a mai tudományt a fokozatos metamorfózisra.

Természetesen a tudományos elméleteknek megvan a maguk elvont sorsa is, és lesz még alkalmunk arra, hogy szót ejtsünk a dinamika nyelvezetének fokozatos megtisztulásáról. A tudományfejlődés döntő újdonságai azonban nem ilyen jellegűek. Inkább a valóság egyik vagy másik új vetületének a tudományos korpuszba való sikeres beillesztéséből származnak. Példának felhozhatnánk az irreverzibilitás vagy az instabilitás fogalmának bevezetését. Látni fogjuk, hogy ezek az újítások mindkét esetben — s a megállapítás általános

érvényű — a kulturális, sőt „ideologikus” közeg hatására adott válaszok, vagy jobban mondva, kifejezik a tudomány tényleges nyitását arra a közegre, amelyben fejlődik.

Állást foglalni e nyitás mellett azt jelenti, hogy szembehelyezkedünk egy másik, a tudománnyal kapcsolatos elterjedt elmélettel. Az a gondolat, hogy fejlődése során a tudomány megszabadul a természeti folyamatok megértésének követelményétől (vagyis megtisztul attól, amit a józan ész lustaságából fakadó előítéletként szoktak meghatározni, hogy így még jobban szembeállíthassák az ész „aszkézisével”), valójában azt a gondolatot foglalja magában, hogy a tudomány különálló, világi érdekektől mentes emberi közösségek műve. Ebből az következik, hogy a tudományos közösségnek védettnek kell lennie a társadalom kéréseivel, szükségleteivel, követeléseivel szemben. A tudományos haladás ezek szerint teljesen autonóm folyamat lenne, amelyet minden „külső” hatás, a tudósok minden más kulturális vagy társadalmi tevékenységben való részvételéből eredő érdeke, illetve a pénzforrásokhoz való hozzájárulás szükséglete csak zavarhat, eltéríthet vagy késleltethet.

Az absztrakciónak, a tudós háttérbe vonulásának ezt az eszményét gyakran azzal az érveléssel támasztják alá, hogy az „igazi” kutatói hivatásnak lényeges eleme a világ viszontagságaitól való szabadulni vágyás. Einstein így beszél azokról a kutatókról, akiket Isten angyala megkímélne, ha ki kellene űznie a tudomány templomából a nyilvánvalóan nem oda tartozókat (hogy milyen ismérvek alapján, arról nem ejt szót): „Egészen különös, zárkózott, magányos fickók többnyire, akik — közös vonásaik ellenére — kevésbé hasonlítanak egymásra, mint az elűzött sereg tagjai. Vajon ezeket mi vezette a templomba?... a művészethez és tudományhoz elvezető indokok egyik legerősebbike a fájdalmas nyersségű és vigasztalanul sivár mindennapi életből és a saját vágyainak örökké váltakozó bilincseitől való menekülés. Az érzékenyebben hangoltakat ez kergeti ki a személyi létből az objektív látás és megértés világába; ez az ok azzal a vágyakozással hasonlítható össze, amely a városi lármás, áttekinthetetlen környezetéből ellenállhatatlanul a csendes hegymagaslato felé vonzza, ahol a messzi pillantás csendes és tiszta levegőn hatol át, és nyugodt vonalakhoz simul, amelyek mintha az örökkévalóság részére teremődtek volna. De ehhez a negatív okhoz még egy másik, pozitív is társul. Az ember igyekszik magában a világról — megfelelő módon — egy

leegyszerűsített és áttekinthető képet alkotni, és így az átélés világát azáltal legyőzni, hogy azt — bizonyos fokig — ezzel a képpel helyettesíti.”<sup>9</sup>

A különbséghez, amelyet Einstein oly világosan felvázol a tudomány békés szépsége és a mindennapi tapasztalat kicsinyes örvénylése között, még hozzávehetjük azt a valósággal manicheus ellentétet, amely tudomány és társadalom, vagy még pontosabban a tudásból fakadó alkotóerő és a politikai hatalom között feszül. A kutatómunkát nem is egy közösség kebelén belül vagy egy templomban kellene végezni, hanem egy erődtérben — vagy a bolondokházában, ahogy Dürrenmatt a *Fizikusok*ban elképzelte: három tudós vitázik azon, miképpen lehetne előmozdítani a fizika fejlődését úgy, hogy közben megóvják az embereket szörnyű következményeitől, ha a politikai hatalom ráteszi a kezét a fejlődés eredményeire. Végül arra a következtetésre jutnak, hogy az egyikük által kiötlött taktika a megoldás: mindannyian úgy döntenek, hogy továbbra is bolondnak tettetik magukat, továbbra is elrejtőznek egy örültekháza mélyén. Emlékszünk a darab végére: a sors erősebbnek bizonyul, az eredmények az intézmény igazgatónöjének kezébe jutnak, s ő dönthet a Föld sorsa felől.

Dürrenmatt darabja a tudományos tevékenység harmadik, inkább népszerű, semmint filozófiai elképzelését tárja elénk, mely elismeri annak a gondolatnak az általánosan elfogadott következményét, hogy a tudomány fejlődése a valóság bonyolultságának a rejtett egyszerűségekre való visszavezetése útján valósul meg. Amit a fizikus Moebius az örültekháza mélyén igyekszik eltitkolni, az az, hogy sorban megoldotta a tömegvonzás problémáját, felfedezte az elemi részecskék egységes elméletét és végül a korlátlan hatalom forrását, minden felfedezés alapelvét. Természetesen ebben van némi művészi túlzás. De az a gondolat, hogy a tudomány templomában mindenekelőtt a Világegyetem „képletét” keresik, mégiscsak elterjedt. A tudomány embere, aki eddig csak mint aszkéta jelent meg, most egyfajta mágussá válik, aki birtokába juthat a mindent nyitó kulcsnak, vagyis a mindenható tudásnak. Hadd hivatkozzunk itt a már említett gondolatra: csakis egy egyszerű világban, nevezetesen a klasszikus tudomány világában, ahol a bonyolultság csupán látszat, jelenthet bármilyen tudás egyetemes, mindent nyitó kulcsot.<sup>10</sup>

Korunk egyik problémája a fogalmaknak ez a kapcsolódása, amely felerősíti a tudományos közösség papi elkülönültségét. Sürgőssé vált,

hogy megvizsgáljuk a tudományos tevékenységek társadalomba való beilleszkedésének különböző módozatait, melyek oda vezettek, hogy ez a közösség többé-kevésbé *célra irányult*,<sup>11</sup> és nem marad érzéketlen a társadalmi szükségletekre és követelményekre.

Sürgősségről beszéltünk. Az emberiség újra belefogott, de ezúttal még sohasem látott mértékben, hogy visszafordíthatatlanul felborítsa természeti környezetét: e tevékenységéből — Moscovici kifejezésével élve<sup>12</sup> — „új természet” születik. A jövő még soha nem múltott ennyire rajtunk: az emberiség, miközben gépek és technikák új nemzedékeivel népesíti be a világot, egymásba kapcsolódó folyamatok sokaságát működteti új módon, s hogy megértse az általa meghatározott, születőben lévő új világot, szüksége van mindazon fogalmi és technikai eszközökre, amelyekkel a tudomány szolgálhat. Olyan tudományra van szüksége, mely nem rajta kívül eső célkitűzéseknek alávetett, egyszerű eszköz, sem valamiféle idegen test, mely egy társadalmon belül önállóan fejlődik, és nem kell számot adnia semmiről. Szándékunk szerint a nyitottságnak és bizonytalanságnak ez az összefüggés-rendszere szolgál könyvünk alapjául.

Nem kevés hiszékenységet tételeznének fel rólunk, ha azt értenék ki szavainkból, hogy a tudomány általunk leírt elméleti metamorfózis meg tudja majd oldani az említett problémákat. Mint ahogy a nyugati tudomány nem vádolható azzal, hogy felelős a problémákért, melyekkel manapság szembekerülünk, ugyanúgy a megváltást sem várhatjuk tőle. Mégis, rendkívül fontosnak tartjuk, hogy tudományos elméleteink ma képesek megszabadulni azoktól a korlátoktól és előítéletektől, amelyek szinte örökkévalóvá tették egy meghaladott kultúra választásait, lényeges, hogy képesek nyitni más megközelítési módok irányába. A jövő behatárolt világa nem teszi lehetővé tudományunknak, hogy bezárkózzék nyugatiságába, már csak azért sem, mert az irracionális reakciók, melyek a tudomány „elutasításáig” mérszkednek, veszélyesebbek, mint bármikor. Másfelől azt is meg kell mondani, hogy a tudományos racionalitás túl gyakran vállalkozott egészen más jellegű döntések igazolására. Az önáltatásoktól megszabadult tudomány lehet kevésbé engedelmes, tisztábban látó és igényesebb, amikor a „tudományos racionalitás” forog kockán.

A tudományos állítások tökéletes voltát sokáig az egyetemes racionalitás jegyének tekintették; az egyetemesség ezek szerint minden kulturális partikularitás tagadását és meghaladását jelentené. Sze-

rintünk tudományunk akkor fog kinyílni az egyetemesre, ha felhagy a tagadással, ha nem tekinti rá nem tartozónak azon társadalmak gondjait és problémáit, amelyekben fejlődik, ha végre képessé válik párbeszédet folytatni egyrészt a természettel, melynek meg fogja tudni becsülni sokszínű varázslatait, másrészt a különféle kultúrákhoz tartozó emberekkel, akiknek kérdéseit nem fogja többé lebecsülni.

A történet, amelyet el akarunk mesélni, a természet története is, a természetről alkotott elképzeléseinké és vele fenntartott anyagi viszonyainké, rá gyakorolt befolyásunké és azon folyamatoké, amelyeket rendszerszerűen működtetünk benne, különösen azzal, hogy gépekkel népesítjük be. Találkozni fogunk a természet-automatával, amely számára az őt leíró ember éppen olyan idegen, mint az órásmester az óra számára. Látni fogjuk, hogy a XIX. században a természet-gép természet-motorrá válik, ami együtt jár az erőforrások kimerülésének és a hanyatlásnak nyugtalanító és új problémájával, valamint a fejlődés vetélytárs távlatával is — éppen ez a fejlődés tette lehetővé az óraszerkezettől a gőzgéphez való átmenetet.

Hol tartunk ma? Könyvünknek szeretttük volna „A megtalált idő” címet adni. Ugyanis a természet, amellyel ma a tudománynak dolga van, már nem az a természet, amelyet a soha nem változó és repetitív idő kategóriájával le lehetett írni, sem az, amelynek fejlődését egyhangúan növekvő vagy csökkenő függvényként lehetett megfogalmazni. A kutatás tárgya már olyan természet, amelynek fejlődése sokszínű és sokágú, amely figyelmünket nem egyfajta időre irányítja a többi rovására, hanem lényegileg különböző és egymásba folyó idők együtt létezésére. Két ellentétes alapállás. Newtoné a *Principia* című művében: „Az abszolút, igaz és matematikai idő, magában és saját természete szerint, minden külsőhöz való kapcsolat nélkül, egyformán folyik, s másik néven Tartamnak nevezük.” Bergsoné a *Teremtő fejlődésben*: „Az Univerzum tart. Minél mélyebbre hatolunk az idő természetébe, annál inkább meg fogjuk érteni, hogy a tartam invenciót, formák alkotását, az abszolút új folyamatos teremtését jelenti.” Ezentúl e két dimenzió nem kizárja egymást, hanem egybekapcsolódik. A ma megtalált idő egyszersmind olyan idő, amely már nem magányról beszél nekünk, hanem az embernek az általa leírt természettel kötött szövetségéről.





# I. Az újkori tudomány programja

## 1. Az új Mózes

### *Első könyv*

### Az egyetemesség délibábja: a klasszikus tudomány

Ne lepődjün meg, ha az új Mózes, aki látta a „törvény-  
ráblakat”. Költők, építők, szobrászok és más művészek versen-  
yeznek egymással, hogy melyikük állíthassa neki emlékművet. Egy  
készen nemer szeglik össze, hogy megemlékezzen az eseményről:  
egy ember rábukkant a nyelvre, melyen a természet beszél – a mely-  
t hallgat.

Nature, compelled, has raised Mind obey,  
And gladly shows her all her secret Ways;  
'Gainst Mathematics she has no Defence,  
And yields to experimental Consequence.<sup>14</sup>

Az erkölcs és a politika Newton eredményeiben anyagot talál ér-  
telisé „megafogásához”. Desagolliers irodolotes „Törvények mel-  
letve” alakítja az új természeti rend kezd szariml érulmót: a leg-  
jobb rendszer az alkotmányos királyság, melyben a Király hatalom,  
dekorak a Napé, korlátozott.

Like Ministers attending ev'ry Glance  
Six Worlds respect round his Throne in Mystic Dance  
He turns their Motion from his Devious Course,  
And bend their Orbits by Attractive Force;  
Six Pow'rs mov'd by Laws, will leave them free,  
Direct, but not Destroy, their Liberty.<sup>15</sup>



# I. Az újkori tudomány programja

## I. Az új Mózes

Nature and Nature's laws lay hid in night:  
God said, let Newton be! and all was light<sup>13</sup>

A. Pope

(Felirattervezet az 1727-ben meghalt Isaac  
Newton sírjára)

Ne lepődjünk meg Pope emelkedett hangvételén. A XVIII. század Angliája számára Newton az az „új Mózes”, aki láthatta a „törvénytáblákat”. Költők, építészek, szobrászok és más művészek versengenek egymással, hogy melyikük állíthasson neki emlékművet. Egy egész nemzet sereglük össze, hogy megemlékezzen az eseményről: egy ember rábukkant a nyelvre, melyen a természet beszél — s melyre hallgat.

Nature, compelled, his piercing Mind obeys,  
And gladly shows him all her secret Ways;  
'Gainst Mathematicks she has no Defence,  
And yields t' experimental Consequence.<sup>14</sup>

Az erkölcs és a politika Newton eredményeiben anyagot talál érvelése „megalapozásához”. Desaguliers tiszteletes „Törvények szellemévé” alakítja az új természeti rend betű szerinti értelmét: a legjobb rendszer az alkotmányos királyság, melyben a Király hatalma, akárcsak a Napé, korlátozott.

Like Ministers attending ev'ry Glance  
Six Worlds sweep round his Throne in Mystick Dance.  
He turns their Motion from his Devious Course,  
And bend their Orbits by Attractive Force;  
His Pow'r coerc'd by Laws, still leave them free,  
Directs, but not Destroys, their Liberty;<sup>15</sup>

Bár Newton nem kalandozott ilyen messzire az erkölcstudo-  
mányok világába, mégsem tétovázott kiállni a *Principiá*ban feltárt  
törvények fizikai egyetemessége mellett. A természet „nagyon is hű  
önmagához” — mondja az *Optika* híres 31. kérdésében, s ez az erő-  
teljes, rövid mondat szándéka szerint mindent magába kíván foglalni:  
az égést, az erjedést, a hőt, a kohéziót, a mágnességet..., nincs olyan  
természeti folyamat, amely ne a vonzás és a taszítás eredménye  
lenne. Ez a két tevékeny erő szabályozza a csillagok mozgását és a  
testek zuhanását.

Newton, akit már halála előtt nemzeti hősnak tekintettek, csaknem  
száz évvel később — Laplace nagy hatású iskolájának befolyására —  
az európai tudományos forradalom jelképévé vált. A csillagászok az  
 eget fürkészték, ahol ezentúl a matematika szabta meg a törvényt, s  
töltötte be a jós szerepét. Rendkívül érdekes tény, hogy Newton  
rendszere minden akadályt legyőzött, sőt mi több, szabadon hagyta  
az utat olyan matematikai elgondolások előtt, melyek meg tudták  
magyarázni a látszólagos eltéréseket. Egy híressé vált esetben pedig  
ezekből az eltérésekből egy addig még ismeretlen égitest létezését is  
ki tudták következtetni. Ebben az értelemben mondhatjuk, hogy az új  
bolygó, a Neptun „feltalálása” bizonyosság volt a newtoni világkép  
profetikus ereje mellett, míg Laplace annak rendszerező erejét  
aknáztta ki.

A XIX. század hajnalán Newton neve kezdi felölelni mindazt, ami  
— akár mint eredmény, akár mint ígéret — modell értékű lehet a ter-  
mészettudomány számára. Ám a módszernek, módszerének fura  
módon, különféle értelmezései élnek egymás mellett.

Egyesek mindenekelőtt a kísérletek matematikailag megfogal-  
mazható forgatókönyvének gondolatát találták meg benne. Az ő  
számukra a kémiában Newtonnak Lavoisier felel meg, aki bevezette a  
mérleg rendszeres használatát, valamint definiálta a kvantitatív  
kémiát, mégpedig mint az invariáns tömegegyensúlyok tanulmá-  
nyozását az anyag átalakulása során.

Mások számára a newtoni stratégia azt jelenti, hogy a jelenségek  
együtteséből kiemelünk egy középponti, redukálhatatlan és sajátos té-  
nyezőt, melyből minden egyéb levezethető. Newton példáját követ-  
ve, akinek lángelméje ezen elképzelés szerint éppen abban rejlett,  
hogy nem igyekezett megmagyarázni a vonzóerőt, minden egyes  
tudományágnak egy ilyenfajta kiindulópontot kell találnia, mely ön-

magában megmagyarázatlan ugyan, de minden magyarázatnak alapja. Voltak is orvosok, akik Newtonra hivatkozva modern nyelvezetbe csomagolva adták elő a vitalizmus tanát, s egy *sui generis* életerőt emlegettek. Ugyanez a szerep jutott a kémiában az affinitásnak, ennek a sajátos, a tömegek mozgástörvényeire visszavezethetetlen interakciós erőnek.

Az „igazi newtonisták” felháborodnak és kiállnak a gravitáció egyetemes magyarázó ereje mellett. De már késő. Már mindenki Newton követőjének számít, aki törvények rendszeréről és egyensúlyról beszél, mindenki, aki előássa a harmónia mítoszát, amelyben a természet és az erkölcs rendje, a társadalmi és a politikai rend egymásra talál. Newton sikeréhez ezentúl a legkülönbözőbb szándékok kapcsolódnak. Egyes romantikus természetfilozófusok a newtoni világban elvarázsolt birodalmat látnak, melyet a legkülönfélébb erők népesítenek be. Az „óhitű” fizikusok egyetemes erő által mozgatott mechanikus és matematizálható világnak látják. A pozitivisták a módszer sikerére hívják fel a figyelmet.

A többi csak — legtöbbször newtoni ihletésű — irodalom: a csillogok társadalmában uralkodó összhang, a vegyületek ellenszenvek és vonzódások által kialakított társas élete, mindezen folyamatok hatásai újratermelődnek, eltolódnak, felerősödnek az emberi társadalmak így módon megújuló univerzumában.<sup>16</sup>

Ugyan miért volna meglepő, hogy ezt a kort a tudomány aranykoraként emlegetik?

A newtoni tudomány ma is példa értékű sikerként jelenik meg előttünk. Az általa bevezetett dinamikai fogalmak el nem évülő eredmények, melyeket a tudomány semmilyen átalakulása nem hagyhat figyelmen kívül. Mégis, tudjuk, hogy a klasszikus tudomány aranykorának vége, s vele együtt foszlott semmivé az a gondolat, hogy a newtoni racionalitás — melynek különböző értelmezései ma már nyíltan ütköznek egymással — elegendő az ismeretek világának egységesítéséhez.

A könyvünkben elmesélt történet mindenekelőtt a newtoni diadal története: mind a mai napig bukkanunk még új területekre, melyek a newtoni gondolat meghosszabbításai. Ugyanakkor a newtoni tudomány önnön határai újrajelölésének, az általa felszínre hozott nehézségek és kételyek, az e hiányosságok kiküszöbölésére vagy más tudomány létrehozására tett kísérleteknek a története is. Azt mond-

hatjuk, hogy mintegy százötven éve keressük a tudományos vállalkozás újabb összefüggő nézetrendszerét, mint ahogy keressük a tudomány által leírt természetet is. Most pedig térjünk rá arra, hogy ez az új elképzelés hogyan bontakozik ki a tudomány újabb fejlődéséből, s hogyan válik manapság a tudomány metamorfózisának ígéretévé, sőt valóságává.

## 2. A varázstalanított világ

...May God us Keep  
From Single Vision and Newton's Sleep!  
William Blake

(Levél Thomas Buttshoz,  
1802. november 22.)<sup>17</sup>

Abból a célból, hogy megvilágítsuk a newtoni tudomány által megvalósított tudományos és kulturális szintézis ingatag voltát, úgy véltük, leghelyesebb kitérők nélkül visszatérni korunkba. Álljon itt példaként az UNESCO által tartott kollokvium bevezetése, amely a tudomány és a kultúra viszonyát tárgyalja: „A tudományos tevékenység az utóbbi több mint száz évben olyan növekedésen ment át az őt körülvevő kulturális közegen belül, hogy látszólag a kultúra egészének helyébe lépett. Egyesek számára ez csupán érzéki csatlódás, melyet a növekedés sebessége okoz, és a kultúra erővonalai hamarosan újra felszínre törnek, hogy ezt a növekedést az ember szolgálatába állítsák. Mások úgy vélik, hogy a tudomány újabb kori diadala végre megadja számára azt a lehetőséget, hogy a kultúra egészét uralja, és a kultúra mellesleg csak annyiban érdemelné meg ezt a címet, amennyiben tudományos formák közvetítésével képes megjelenni. Megint mások, akiket megijeszt az embereket és a társadalmakat fondorlatosan irányító manipuláció, mihelyt a tudomány hatalma megerősödik fölöttük, a kulturális értékvesztés kísértetét látják felsejleni.”<sup>18</sup>

A tudomány ebben a szövegben a kultúrától idegen testként jelenik meg, melynek rákos növekedése a kulturális élet teljes elpusztításával fenyeget. Élet-halál kérdésévé válik, hogy megszerezük-e a tudomány feletti uralmat, ellenőrizzük-e fejlődését, avagy hagyjuk magunkat elnyomni, megsemmisíteni általa. Alig százötven év alatt a tudomány ihletforrásból veszélyé lett. És nemcsak az

emberek anyagi létét fenyegető veszéllyé, hanem, még alattomosabban, a tudást, a hagyományokat, a kulturális emlékezet legmélyebben gyökerező tapasztalatait fenyegető veszéllyé: nem egy tudományos eredmény ilyen vagy olyan technikai következménye, hanem maga a „tudományos szellem” került a vádlottak padjára.

Panaszkodjanak akár a tudományos kultúrából kisarjadzott, mindent átfogó kételkedésre, akár a különböző tudományos elméletek tényleges következtetéseire, manapság széles körben elterjedt a vélemény: a tudomány megfosztja a világot varázsától; minden általa leírt jelenség véglegesen az egyedi érdekességről tudomást nem vevő általános törvények egyik alkalmazási esetére szűkül le. Mindaz, ami a megelőző nemzedékek számára öröm vagy meglepetés forrása volt, a tudomány közeledtére elszűrül.

A tudományos fejlődés eme állítólagos hatásának tételét nemcsak a tudomány bírálói közül osztják sokan, hanem — érdemes leszögezni — védelmezői vagy dicsőítői is gyakran gondolkodnak így. Jellemző példa erre Jacques Monod következtetése, melyet a mai biológia filozófiai következményeiből von le: „Az embernek végre fel kell ébrednie ezeréves álmából, hogy felfedezze teljes magányát, gyökeres különállását. Most már tudja, hogy akár egy cigány, csupán a peremén áll annak a világnak, amelyben élnie kell. Ez a világ süket a zenéjére, és közömbös reményei, szenvedései vagy bűnei iránt.”<sup>19</sup>

Monod felszólítása, mely szerint az „ember” vállalja fel sorsaként a magányt, és mondjon le azokról az ábrándokról, amelyekbe a hagyományos társadalmak menekülnek, teljesen nyilvánvalóan azt jelenti, hogy azt a nyugati tudományt, amely néhány száz év alatt fejlődött olyanná, amilyen, azonosítja a minden kultúrát és minden kort átható racionalitással. Így a tudományos fejlődés valóban sorszerű és elvont metafizikai választás elé kerül; az „ember” választásra kényszerül aközött, hogy vagy enged annak a megnyugtató, de irracionális kísértésnek, hogy a természetben az emberi értékek biztosítékát, egyfajta lényegi hovatartozás megnyilvánulását keresse, vagy pedig hű marad a racionalitáshoz, amely magára hagyja őt egy néma és értetlen világban.

Egy másik téma is felmerül a varázstalanítás kapcsán, mégpedig az uralomé: a varázslat alól feloldott világ egzszersmind kezelhető világ is. Ha a tudomány a világot úgy fogja fel, mint ami alá van vetve egy átfogó elméleti sémának, mely sokszínű gazdagságát álta-

lános törvények komor alkalmazására szűkíti le, ezzel az ellenőrzés és az uralom eszközeit is megteremti a maga számára. A világtól idegen ember a világ urának képzele magát.

Itt Heidegger több mint veszedelmes nézetei jelennek meg. A tudományos terv megvalósítja azt, ami a görög kor óta készülöben van, s amit a racionalitás összes formái megpróbálnak eltitkolni: a hatalom megragadását. Heidegger szerint a ma már világméretű tudományos és technikai hatalomátvételben a minden valóságos és közölhető tudásban megtalálható rejtett erőszaktartalom nyilvánul meg.

Technikai hatalomátvétel: Heidegger nem kíván egyetlen tényleges technikai eredményt sem kérdésessé tenni, a technika lényegére, a természettel való emberi együttélés technikai vetületére kérdez rá. Nem az aggasztja, hogy az ipari környezetszennyezés veszélyezteti az állatok életét a Rajnában, hanem önmagában az a tény, hogy a folyó, számítás eredményeképpen, az ember szolgálatába állított: „A villanyerőmű megkezdte működését a Rajnán. Felhasználja a víz nyomását, mely a turbinákat forgatja... Az erőmű nem oly módon épült a Rajnára, mint a két partot századok óta összekötő régi fahíd. Inkább az a helyzet, hogy az áramlást befalazták az erőműbe. Ma az áramlás attól áramlás — vagyis víznyomást szolgáltató valami — , hogy az erőmű része.”<sup>20</sup>

Tudományos hatalomátvétel — mint ahogy egyetlen valós technikai probléma, úgy egyetlen tényleges elmélet sem foglalkoztatja Heideggert; mindegyikük egy mozzanata csupán annak az átfogó programnak, amely végigkíséri és alkotja a Nyugat történelmét. A tudóban, mint ahogy a technikai szakemberben is, tudásvágynak álcázott hataloméhség lakozik, s az, ahogyan megközelíti a dolgokat, rendszeresen alkalmazott erőszakra vall. A tudományt meghatározó elméleti távlatban Heidegger a dolgok afféle megközelítését látja, amely azokat kiszolgáltatott, a tekintet uralmának alávetett tárgyakká merevíti: „A modern fizika nem attól kísérleti fizika, hogy rendelkezik a természet kutatására alkalmas műszerekkel. Éppen fordítva: azért, mert a fizika — már tiszta elméletként is — arra kényszeríti a természetet, hogy a kísérletnek alávetett erőknek kiszámítható és megjósolható együtteseként jelenjék meg abból a célból, hogy megtudjuk, az így szóra bírt természet válaszol-e a hozzá intézett kérdésre, és ha igen, hogyan.”<sup>21</sup>



Ez a gyökeres ellenszenv egyként veszi célba a technikai tevékenységet és az átadható tudás egészét. Az ódon rajnai fahíd nem azért méltó a kegyelemre, mert kipróbált hozzáértésről, munkás és pontos megfigyelésről tanúskodik, hanem azért, mert nem zavarja meg a Rajna folyását. Bergier és Pauwels izgalmas és eredeti meg-látásaihoz a *Le Matin des magiciens*-ben úgyszintén nyílt megvetés társul egyrészt a közönségesnek és szellembénítőnek bélyegzett hivatalos tudomány, másrészt az emberek többségének szintúgy közönséges mindennapi gondjai iránt. Ezzel szemben a „másik” valóságra hivatkoznak, a titkokkal teli, a beavatottaknak fenntartott tudományra, mely visszanyúl az alkimisták, csodatévők és egyéb mágusok titkos értelmű fortélyaihoz. „Miközben civilizált lények milliói könyvet olvasnak, moziba vagy színházba járnak, hogy meg-tudják, René hogyan lágyítja meg Françoise szívét, aki, mivel gyűlö-li apja szeretőjét, tudatalatti bosszúvágyból lesbikussá válik, néhány kutató, számukra a számok mennyei muzsikát rejtenek, azon tépe-lődik, hogy a tér nem szűkül-e össze a járművek körül.”<sup>22</sup>

A szcientizmus diadala, mondhatnánk. A tudomány az emberiség sorsának intézőjévé vált, s a világot ismeretlen és elképzelhetetlen jövő felé vezet: „Ha újra kellene élnem az életemet, semmiképpen sem szeretnék író lenni, hogy napjaimat egy maradi társadalomban pergessem le, ahol a kaland, akár egy kutya, az ágy alatt kushad. Oroszlánkaland kellene nekem. Elméleti fizikus lennék, hogy az igazi romantika izzó világának szívében élhessek.”<sup>23</sup>

Ez az „oroszlánkaland” azonban nem a tudományos közösségek tevékeny és nyilvános erőfeszítéseinek világa. Az elénk tárt tudomá-ny kvázi-mutáns egyedek nem emberi megérzéseiből származik, s nem kritikus vitákból és lassú kísérletező munkából születik. Inkább titokban, semmint folyóiratok és tudományos kollokviumok útján terjed. Amit Bergier és Pauwels, majd újabban Ruyer<sup>24</sup> sugallni kíván, az az, hogy az „átlagemberek” gondjai és az ezeket megraga-dó ismeretek egy meghaladott világhoz tartoznak, melyekkel csak be-csapjuk magunkat. A kaland másutt vár ránk, mondják, valahol a végtelenül nagy és a végtelenül kicsiny birodalmában. A „közön-séges ember” Bergier és Pauwels nyomdokain haladva legfeljebb abban reménykedhet, hogy egy-két beavatott egy szép napon majd le-ereszkedik odáig, hogy tanulmányozza társadalomszerveződésünk hétköznapi problémáit is, s porrá zúzza majd a humán tudományok

avult elméleteit, melyeket nem lehet valóban kellő megvetéssel a sutba hajítani. Talán, sugalmazták, ez meg is történt már, és jövőnk, bár még nem tudunk róla, néhány „sokat tudó” embertől függ.

A misztika, amely áthatja ezt az ezoterikus tudományt, valamint azt a „világot, amelyben a részecskegyorsítók a katedrálisokhoz, a matematika a gregorián énekhez hasonlatos, s amelyben átalakulások nemcsak az anyagban történnek, hanem az agyakban is”,<sup>25</sup> a jövő felé irányuló „keresztes hadjárat” előhírnöke. A mai helyzetben ez a keresztes hadjárat éppen olyan veszélyes, mint a tudomány elvetése vagy a mitikus görög hajnal felmagasztalása. Korunknak alapvető anyagi és technikai problémákkal kell szembenéznie. Tudjuk, hogy társadalmaink irányítása egyre inkább a tudomány és a technika helyes használatán alapul. Ilyen körülmények közepette korántsem felesleges a körültekintő előrelátás: egyrészt a tudósoknál, akik beleütköznek a társadalmi szinten megnyilvánuló szükségletekbe és követelményekbe; másrészt a polgároknál, ami saját tudásuk valódi lehetőségeit illeti. Ha elcsúszunk a titokzatos és mindenható tudomány mítosza felé, ez csakis oda vezethet, hogy elkendőzzük magunk előtt a történelem által felvetett problémák valódi nehézségét.

A tudományt ért bírálatok között van egy, melynek érvényességét el kell ismernünk. Hadd idézzük példaképpen Koyrének a newtoni szintézis jelentőségéről szóló tanulmányából a végkövetkeztetést: „Mégis, van valami, amiért Newtont felelősnek kell tartanunk, jobban mondva nemcsak Newtont, hanem általában a modern tudományt: ez pedig az, hogy kettévágták a világot. Mint már mondtam, a modern tudomány kidöntötte az Eget a Földtől elválasztó korlátokat, egyesítette és egységesítette a Világegyetemet. Ez igaz is. De — ezt is említettem — ezt úgy tette, hogy minőségekből és érzékelhető percepciókból összeálló világunk helyébe, melyben élünk, szeretünk és meghalunk, egy másik világot állított: a mennyiség, az istenné tett geometria világát, melyben van ugyan hely mindennek, de nincs az embernek. Így a tudomány világa — a reális világ — eltávolodott és teljesen elkülönült az élet világától, amelyet a tudomány képtelen volt megmagyarázni — még valamiféle feloldó magyarázatot sem tudott adni, mely »szubjektív« látszatként kezelte volna. Valójában e két világot nap mint nap — és egyre inkább — egyesíti a praxis. De a teória szempontjából szakadéknyi a különbség. Ebben áll a legújabb

szellem tragédiája, mely »megoldotta a Világegyetem rejtélyét«, de csak azért, hogy helyettesítse egy másikkal: önmaga rejtélyével.»<sup>26</sup>

Koyré kritikája új távlatot nyit: nem vagyunk többé választásra kényszerítve az embert a varázstalanított világ számkivetettjévé tévő tudomány és a tudományellenes, sőt antiracionális tiltakozás között.

Ebből a nézőpontból indul ki vizsgálódásunk. Meg szeretnénk mutatni, hogy tudományunk már nem a Koyré bírálta klasszikus tudomány, s nem azért, mintha különös tárgya volna — mint ahogy Bergier és Pauwels gondolják —, amúgy pedig közelebb állna a mágiához, mint a közönséges észjáráshoz, hanem azért, mert most már legalábbis részlegesen képes megérteni és leírni azokat a bonyolult folyamatokat, amelyekből *a számunkra lehető legismerősebb világ*, a természeti világ — amelyben az élőlények és társadalmak fejlődnek — felépül.

Visszatekintve jobban megérthetjük, hogy a klasszikus tudomány mennyire képtelen volt megérteni a természeti fejlődést, olyannyira, hogy azok a kivetítések, amelyekkel elméleti alapon megpróbálkozott, elkerülhetetlenül és mindenekelőtt az újat és bonyolultat létrehozó evolúció lehetőségének tagadásába torkollottak. Meg fogjuk vizsgálni a newtoni tudomány erejét és gyengéit, fogalmi rendszerének egységes voltát, valamint hiányosságait is. Vizsgálódásunk tengelye az idő problémája lesz, ez az a pont, ahonnan leginkább látható a „newtoni” tudomány tagadó jellege. Talán nem szorul bizonyításra, hogy a biológiai változáshoz vagy a társadalomfejlődéshez kapcsolt idő *nem ugyanaz az idő*, mint amely a bolygók vagy az ideális inga mozgását írja le. Márpedig ezt az alapvető gondolatot a newtoni tudomány lényegében képtelen magába fogadni. Másrészt azok az elméletek, amelyek ma lehetővé teszik számunkra, hogy a tudomány metamorfózisáról beszélhessünk, a megfordíthatatlanság, a szerveződési és képződési folyamatok kérdése körül alakultak ki.

Az egyik legígéretesebb távlat, melyet ez a metamorfózis nyit, nem más, mint hogy vége szakadhat annak a kulturális törésnek, amely a tudományt *idegen testté* teszi, és a felvállalandó végzettség vagy a legyőzendő veszély látszatával ruházza fel. Meg szeretnénk mutatni, hogy a matematikára épülő természettudományok, amikor feltárják a bonyolultság és a változás problémáit, egyszersmind képessé is válnak arra, hogy megértsenek valamit bizonyos, a

mítoszokban, vallásokban és filozófiákban testet öltő kérdések jelentéséből, valamint arra is, hogy helyesebben ítéljék meg azon tudományok kérdésfeltevéseinek természetét, amelyeknek tárgya az ember és az emberi társadalmak.

Ily módon jelentőségre tehet szert egy új kulturális folyamat, egy „harmadik kultúra” kialakulása (a kifejezést Snow-tól kölcsönöztük, aki e kultúra születését korunk kulturális szakadásáról írott munkájának függelékében jelezte).<sup>27</sup> Egy harmadik kultúráé: egy olyan közegé, melyben megkezdődhet az elengedhetetlenül szükséges párbeszéd a matematikai modellalkotás módszereit alkalmazó tudósok és a fogalmi és gyakorlati tapasztalattal rendelkező közgazdászok, biológusok, szociológusok, demográfusok, orvosok között, akik megpróbálják a maga bonyolultságában leírni az emberi társadalmat. Egy ilyen szellemi közeg kialakulása — ezt a folyamatot nagyban elő fogja segíteni, ha a természettudományok a maguk eszközeivel képesek lesznek felismerni más tudományok problémáinak érvényességét — kétségkívül hatással van saját fogalmi és technikai erőforrásaink kiaknázására a jelenlegi válság közepette.

### 3. A newtoni szintézis

Mivel magyarázható Newton kortársainak lelkesedése, az a meggyőződésük, hogy végre feltárukt előttük a világ rejtélye, a természet valósága? Mint ahogy Desaguliers vesszoraiból kitűnik, a newtoni diadal szemükben annak az eredeti szintézisnek a sikere, amelyet a modern tudomány megkísérelt megalkotni a jelek szerint minden emberi civilizációban közös törekvésekből. Ez a siker azt jelenti, hogy a természet képtelen ellenállni a tapasztalati módszernek, mely a vizsgálati eszközök és az átváltoztatás *elmélete* és *gyakorlata* közötti új szövetség gyümölcse.

A newtoni tudomány *gyakorlati* tudomány. Egyik forrása egyértelműen a középkori kézművesek és gépkészítők tudása. A newtoni tudomány is — legalább elvben — eszközöket ad a világ befolyásolására, bizonyos folyamatok megjósolására és módosítására, eszközöket olyan szerkezetek megalkotásához, amelyek segítségével a természet bizonyos erőit és anyagi erőforrásait szolgálatunkba állíthatjuk és kiaknázhatjuk.

Ebben az értelemben az újkori tudomány meghosszabbítása azoknak az ezeréves erőfeszítéseknek, amelyekkel társadalmaink megszervezni és hasznosítani akarják a világot. Keveset tudunk ezen erőfeszítések előtörténetéről, de visszamenőleg is felmérhetjük azt az ismeret- és tudásmennyiséget, amely az újkőkori forradalomnak nevezett folyamathoz szükségeltetett. A vadászó és gyűjtögető ember megtanulta, hogyan uralja természeti és társadalmi környezetének bizonyos területeit a természethasznosítás és a társadalomszervezés új eljárásainak segítségével.

Még most is jelen vannak életünkben egyes újkőkori technikák: állat- és növényfajok létrehozása, kitenyészése vagy nemesítése, szövés, fazekasság, fémművesség. Társadalomszerveződésünk sokáig beírta az írásbeliség, a geometria és az aritmetika eljárásaival, azokkal, amelyek az újkőkori városállamok tagolt és hierarchikusan szelvényekre bomló társadalmi csoportjainak megszervezéséhez voltak szükségesek.<sup>28</sup> Hogyne volna felismerhető a folyamatosság az újkőkori és a tudományos eljárások között?

Azt is el kell fogadnunk, hogy e technikák kifejlődése feltételezi, hogy az újkőkorból és a korábbi évezredekben folyamatos volt a természeti erőforrások feltárására és a használatba vételükhöz szükséges módszerek tapasztalati felkutatására irányuló erőfeszítés. Ez pedig arról tanúskodik, hogy nem csupán olyan egyedek léteztek, akiknek megfigyelői és feltalálói képessége nem maradt el merőben szellemi korunk kiváló embereiétől, hanem olyan társadalmak is, amelyek képesek voltak ezeknek az újítóknak ötleteket sugallni, művüket befogadni, megőrizni és továbbfejleszteni.

Az újkori tudomány folytatja, felerősíti és gyorsabb ritmusra ösztönzi e régi erőfeszítéseket. Ám sem a newtoni forradalom, sem a *pensée sauvage* értelmében vett tudomány nem merül ki a környezet használatba vételének tervében.

Minden emberi társadalomban találunk ismereteket és eljárásokat, valamint egy „szöveggyűjteményt”, mely megmagyarázni vagy értelmezni igyekszik a világ felépítését és az emberi társadalomnak a természethez fűződő viszonyát. Akárcsak a mítoszok és a kozmológiák, a tudomány is igyekszik *megérteni* a világ természetét, szerveződésének módját, amiként azt is, hogy milyen helyet foglal el benne az ember.

Mégis, egy döntő ponton a tudományos gondolkodás eltér a mitológikus kérdésfeltevéstől, melynek folytatója. Kinyilvánította

ugyanis, hogy aláveti magát az ellenőrizhetőség és a kritikai megvitatás módszereinek.<sup>29</sup> Ám nehogy elfelejtsük: ez a szándéknyilatkozat minden kritikai gondolkodásformára jellemző, amiként azt sem feledhetjük, hogy Démokritosz vagy Arisztotelész nem tartoznak az újkori tudományhoz, noha az ellenőrzés vagy a vita módszerével képesek voltak megkülönböztetni az igazat a hamistól. Gondosan szét kell tehát választanunk az általában vett kritikai gondolkodást attól az egyedi formától, amely az „újkori tudomány” címszava alatt lopakodik be világunkba.

Nem sokat számít, hogy a preszokratikus gondolkodók első okoskodásai Hésziodosz teremtésmítoszához hasonló környezetben bontakoznak ki: Ég és Föld kezdeti szembenállása, melyet a szerelem ébresztette vágy termékenyít meg; az istenek, e körvonalat öltött kozmikus erők első nemzedékének megszületése; harc és rendetlenség, kegyetlenkedések és bosszúállások sorozata a végső megszilárdulásig, amikor is megtörténik a hatalom megosztása az Igazság (*diké*) előtti meghajlás során. A tény azonban tény marad: a preszokratikusok néhány nemzedék alatt sorra vesznek — felkutatnak és megbírálnak — néhány olyan alapfogalmat, melyet tudományunk azóta újra felfedezett, és még most is igyekszünk összeilleszteni őket, hogy segítségükkel elgondolhassuk az örökkévaló, változatlan lét és a változás kapcsolatát, vagy hogy megértsük annak keletkezését, ami egy tagolatlan közegeből létrejött.<sup>30</sup>

Miért instabil az egynemű anyag és miért tagolódik részekre, miért válik bonyolultabbá? A törekeny és mulandó dolgok vajon az igazságtalanság, az egyensúly hiányának megnyilvánulásai-e, melyek megbontják a természeti erők összeütközését szabályozó erőviszonyokat? Vagy pedig a dolgok mozgató oka kívül esik rajtuk: a születést, fejlődést, hanyatlást és szétszóródást okozó szeretet és harc egymással vetélkedő erőiről lenne szó? Vajon pusztán káprázat-e a változás, vagy az ellentétek ingadozó harca alkotja a dolgokat? A minőségi változások visszavezethetők-e az atomegyüttesek közti úrben lezajló mozgásokra, vagy pedig az atomok minőségileg különböző csírák összességét képviselik, melyek közül egyik sem hasonlít a többire? A világ összhangja vajon matematikai jellegű-e? A számokban vajon benne rejlik-e a természet kulcsa?

A hangoknak a püthagoreusok által kidolgozott, számokon alapuló tudománya ma is része a zene és a hangtan elméletének. A görögök

által kifejlesztett matematikai teóriák pedig az európai történelem első elvont és ellentmondásmentes elméletei, hiszen eredményeiket minden ésszel megáldott lény felfogja és alkalmazza, levezetéseinek bizonyosságtartalma pedig — akár egy állítás igazságának, akár hamisságának igazolásáról van szó — független az egyéni meggyőződéstől, elvárásoktól és szenvedélyektől.

Ebben az összefüggésben igen keveset tudunk a jón és az attikai városok filozófiájáról, keveset az összefüggésekről az elméleti feltételezések kialakulása és e poliszok virágzó kézműipara és mesterségbeli tudása között. Úgy tudjuk, hogy az ellenséges vallási és társadalmi fogadtatás következményeképpen néhány filozófust isten-tagadással vádoltak, elűztek vagy megöltek. Ez a „rendcsinálási” história felhívja a figyelmet a tanúságtétel és a kockázat — a vértanúság — kérdésének jelentőségére a fogalmi újítások létrejöttéről és elterjedéséről szóló történetekben. Az újkori tudomány sikerének magyarázata egyben annak magyarázata is, hogy gyakorlóit miért nem üldözték tömegesen, s elméleti megközelítéseiket miért nem fojtották el annak a tudásnak az érdekében, amely a közösség elvárásainak megfelelő kategóriák szerint szerveződött.

Platón és Arisztotelész korában mindenesetre a gondolkodást a társadalmilag elfogadható irányokba terelő korlátokat állítanak. Különösen világos a különbségtétel *elméleti gondolkodás és technikai tevékenység* között. Ma használt szavaink — *gép, mechanika, mérnök* — etimológiája hasonló: nem racionális tudásra utalnak, hanem cselre és ravaszságra;<sup>31</sup> nem csupán a természeti folyamatok egyszerű ismeretéről tanúskodnak, hanem a természet becsapásáról, holmi *mesterkedésről*, csodacsinálásról, a természet rendjével nem egyező hatások kiváltásáról. Szembeötlő a különbségtétel a gyakorlati működés és a racionális természetismeret között: Arkhimédész csak matematikusként és mérnökként tartják számon; a gépek egyensúlyának matematikai elemzését, legalábbis a hagyományos ókori fizika keretein belül, nem tartják alkalmazhatónak a természet világára.

Szintúgy éles különbség tételük Ég és Föld, a csillagok változatlan és örök világa és a földi világ között, ahol minden dolog változó, halandó és véges, a szenvedélyek és a romlás játékszere. Az összehasonlító vallástörténet szerint az ókori társadalmak egyik legáltalánosabb jellemzője, hogy elválasztják egymástól a profán és a szakrális teret. A közönséges, jelentéktelen tér, mely alá van vetve a

véletlenné, a romlásnak, elkülönül a szent, jelentéssel teli tértől, mely kívül esik az esetlegességen, a történelmen. Ugyanezt az ellentétet tételezi fel Arisztotelész a csillagok világa és a földi természet között. Ez az ellentét jelenik meg abban a kérdésben is, hogy a matematika alkalmazható-e a világ leírására. A csillagok mozgása ugyanis nem változás, hanem a tökéletesség állapota, mely örökkévalóan megegyezik önmagával, s így leírható (ha nem is magyarázható) a matematika eszközeivel. Ám ami a Hold alatti, szublnáris világot illeti, a matematikai leírás érvényét veszti. A lényegükből fakadóan bizonytalan természeti folyamatokról csupán megközelítő matematikai leírás adható, s az is csak akkor, ha eltekintünk leegyszerűsíthetetlen egyediségüktől.

Arisztotelészt nem annyira az érdekelte, hogy egy folyamat *miképpen* megy végbe, hanem inkább az, hogy *miért* — s e két kérdés voltaképpen nem is választható el egymástól. Megismételjük: az arisztotelészi filozófia egyik forrása a magzat fejlődésének megfigyelése volt, egy rendezett folyamaté, melyben az események minden látszólagos önállóságuk ellenére egymásba kapcsolódnak és összhangban vannak, úgy szerveződnek egységes sorba, mintha egy összefüggő és átfogó terv részei volnának. A magzatfejlődés mintájára az arisztotelészi természet egésze a cél-okság elve szerint szerveződik, s ez nyitja meg az utat a megérthetőség felé is. A változások, amennyiben megfelelnek a dolgok *természetének*, arra hivatottak, hogy minden egyes létezőt eljuttassanak a felfogható *lényegének* tökéletesen megfelelő létbe. A feladat tehát az, hogy megértsük azt a lényegét, amely az élőlények esetében egyszerre cél-, formális és ható-ok.

Az újkori tudomány születésének egyik olvasata szerint az arisztotelianusok és Galilei összeecsapása két racionalitás megütközése, melyek közül az egyik a Hold alatti világra (az élőlények szervezett világára), a másik a csillagok és gépek — összetartozó, mert alapjaiban matematizálható — világára irányul. Valóban feloldhatatlan szembenállás ez, hiszen nyilvánvalóan mindenki másként határozta meg azt, aminek a természetben jelentése van, s azt, ami másodlagos hatás vagy csupán érzékcsalódás.<sup>32</sup>

Galilei szerint a tudomány nem foglalkozhat az arisztotelianusok számára elsőrendű fontosságú „miért” kérdésével. Az utóbbiak viszont *kénytelenek voltak* irracionális megzállottságnak tekinteni



Galileinek a tapasztalaton alapuló mérnöki tudománnyal fenntartott kapcsolatát, vagyis a kísérletekre alapozott kérdésfeltevést.

#### 4. A kísérletes párbeszéd

El is érkeztünk ahhoz, amiben számunkra az újkori tudomány egyedisége rejlik: a technika és a teória találkozásához, a világ elméleti megragadására és megértésére irányuló törekvés szervezett szövetségének kérdéséhez.

Ahhoz, hogy ez a találkozás létrejöhessen — az empiristák hitével szöges ellentétben —, nem volt elegendő a megfigyelhető tényekhez fűződő *tiszteletti* viszony. Bizonyos pontokon, ideértve a mechanikai mozgás leírását is, éppen a hagyományos fizika vetette alá magát a legnagyobb hűséggel a nyilvánvaló tapasztalati tényeknek.<sup>33</sup> A természettel folytatott kísérleti alapú párbeszéd, melyet az újkori tudomány felfedez magának, és rendszeresen folytat, nem tétlen megfigyelésekre, hanem egyfajta *gyakorlatra* épül. A fizikai valóságot kell befolyásolni, elrendezni oly módon, hogy a lehető legközelebb kerüljön az elméleti leíráshoz. A vizsgált jelenséget elő kell készíteni, meg kell tisztítani, el kell szigetelni abból a célból, hogy hasonlítson a fizikailag megvalósíthatatlan, ám a megértést — lévén a befolyásolást irányító elméleti feltevés megtestesülése — leginkább elősegítő *eszményi állapotra*. A kísérlet és az elmélet viszonyát tehát az határozza meg, hogy a kísérletezés a természeti folyamatokat olyan kérdésfeltevésnek veti alá, amelynek csak ahhoz a feltevéshez képest van értelme, amely az e folyamatokat szabályozó elvekre vonatkozik, továbbá olyan viselkedésformákra vonatkozó előfeltételezés-együttesekhez képest, amelyeket képtelenség volna a természetnek tulajdonítani.

Vegyük az Arkhimédész óta klasszikussá vált példát, az általunk az egyszerű gépek csoportjához sorolt csigarendszer működésének leírását. Ezzel kapcsolatban az a legérdekesebb, hogy a mai magyarázatból éppen azt küszöbölték ki mint másodlagos, zavaró elemet, amit az arisztotelészi fizika meg akart magyarázni: azt a tényt, hogy — a forgatókönyv szerint — a kő „ellenáll” a nekirugaszkodó lónak, s ezt az ellenállást „le lehet győzni”, ha a vontatást csigarendszerrel végzik. Galilei elvei értelmében a természet nem ajándékoz, nem ad

semmit ingyen, s megtéveszteni sem lehet; elképzelhetetlen, hogy ravaszsággal és ügyeskedéssel *többletmunkára* lehetne kényszeríteni.<sup>34</sup> Mivel a ló munkája, csigával vagy anélkül, mindig ugyanannyi, ugyanazzal az eredménnyel is *kell* járnia. Ez lesz a kiindulópontja az új mechanikai magyarázatnak. A magyarázat vonatkoztatási alapja egy eszményi világ, melyben az „új” hatás (a végre megmozduló kődarab) *másodlagos*, a kő „ellenállását” pedig a felmelegedést okozó súrlódás magyarázza. Ezentúl viszont pontosan leírják azt az eszményi állapotot, amelyben az egyenértékűség viszonyában áll egymással az ok (a ló munkája) és az okozat (a kő elmozdulása). Ebben az eszményi világban *a ló mindenképpen képes a kő elmozdítására*, a csigarendszernek pedig az az egyetlen eredménye, hogy módosítja a húzóerő átvitelének módját: ahelyett, hogy ugyanazon az  $L$  távolságon mozdítaná el a követ, amelyen maga is mozog, a ló csupán  $L/n$  távolságon húzza el, ahol  $n$  értéke a csigák számától függ. A csigák, mint minden egyszerű gép, munkát nem végző szerkezetek, csak arra képesek, hogy továbbítsák a mozgást, de arra már nem, hogy előidézzék.

A kísérletes párbeszéd igen különös eljárás. A kísérletek kérdőre vonják a természetet, mégpedig akárcsak a bíró, közismert alapelvek nevében. A természet válaszát a legnagyobb gondossággal jegyzi föl, de értékét a kísérletet irányító feltételezett eszményhez képest állapítják meg. Minden egyéb szófia beszéd, üres fecsegés, elhanyagolható másodlagos hatás. A természet persze elvetheti a szóban forgó elméleti hipotézist, de attól az még megmarad annak a mintának, amely megadja a válasz — bármi legyen is az — érvényét és értelmét. A kísérleti módszer tehát *művészet*, azaz hozzáértésen és nem általános szabályokon nyugszik, s ezért nincs is semmiféle biztosítéka, ki van téve a leegyszerűsítésnek, a közönségességnek és az elvakultságnak. Egyetlen módszer sem küszöbölheti ki példának okáért a megrekedés kockázatát, amellyel akkor kell számolnunk, amikor „illetlen” kérdéseket teszünk fel a természetnek. A kísérletezés művészete a kiválasztás, a fokozatos megkülönböztetés, a természet által egy pontosan körülhatárolt helyzetben felkínált összes válaszlehetőség kimerítő vizsgálatának a művészete. Problémát kell választani, melyhez elméleti feltevést fogalmazhatunk meg, s a természet burjánzó összetettségében fel kell ismernünk azt a jelenséget, amelyben ennek az általános kijelentésnek a következményei megtestesülhetnek.

Ezután a kiválasztott jelenséget oly módon kell elrendezni, hogy közérthető és megismételhető módon eldönthessük: megfejthető-e ez a jelenség a hipotézisben foglalt matematika segítségével?

A kísérleti eljárást kezdettől fogva bírálták, a tudományos tevékenység tapasztalati leírásai alig tulajdonítottak neki jelentőséget, támadták mint a természet megerőszkolását, vallatóra fogását, mint erőszakos kutakodást. A tudományos leírások elméleti tartalmának módosulásain keresztül azonban mégis fennmaradt, és legfőbb jellemzője lett az újkori tudomány által meghonosított új kutatási módszernek. A mi körünkben is bizonyos „gondolatkísérletek” — teljes mértékben elméleti alapelvek által meghatározott kísérleti helyzetek elképzelt elrendezései — tették lehetővé, hogy felmérjük a mai fizika fogalmi forradalmának (a relativitáselméletnek, a kvantummechanikának) a következményeit. Ilyen például Einstein híres vonata, melynek utasa megméri a „vasúti töltés” hosszában kibocsátott fénysugár terjedési sebességét, vagyis azt a  $c$  sebességet, amellyel a fény abban a vonatkoztatási rendszerben mozog, amelyhez képest a vonat  $v$  sebességgel halad. A vonat utasa a vele egy irányban mozgó fénynek klasszikus módon  $c-v$  sebességet kellene hogy tulajdonítson, de éppen ez a klasszikus következtetés az az új elméleti képtelenség, amelyet e gondolatkísérlet megjeleníteni hivatott. Valójában a fénysebesség ettől fogva a fizikai törvények *egyetemes állandójaként* jelenik meg. Azt elérendő, hogy e törvények s velük együtt a testek fizikai viselkedése ne változzék meg a testek mozgásával, módosítani kell a sebességek összeadódásának klasszikus elvét, ki kell jelenteni, hogy a fénynek, bármilyen vonatkoztatási rendszerből figyeljük is meg, mindig ugyanaz a  $c$  sebesség lesz a sebessége. Einstein vonata így már végigfuthat emez alapvető módosítás fizikai következményeinek pályáján.

A kísérleti módszer jellemzi az újkori tudománynak a természettel folytatott mindennapi párbeszédét, meghatározza e tudomány egyedi jellegét, különösségét és határait. Igaz, a kísérlet egy leegyszerűsített, előkészített, néha az előzetes feltevés függvényében megcsonkított természethez intézi kérdéseit. A természet azonban többnyire még így, megcsonkítva is képes a feltevések többségét megcáfolni. Einstein hívta fel a figyelmet arra, hogy a természet a neki feltett kérdésekre leggyakrabban *nemmel*, néha pedig *talánnal* vála-

szol. A tudós tehát nem tehet meg mindent, amit csak akar, nem mondathatja a természettel azt, amit hallani szeretne, és — legalábbis hosszabb ideig — nem vetítheti ki rá dédelgetett vágyai és várakozásai bármelyikét. Valóban, a tudós annál nagyobb kockázatot vállal, minél inkább illeszkedik — hite szerint — taktikája a természethez, minél inkább úgy gondolja, hogy sarokba szorítja a természetet.<sup>35</sup> Igaz, ahogy a bírálók mondják, válaszolhat a természet *igennel* vagy *nemmel*, végül is mindenképpen sarokba van szorítva, és kénytelen megerősíteni annak az elméleti nyelvezetnek az érvényességét, amelyen szólnak hozzá. Ám ez a nyelvezet maga is bonyolult módon változik, s ebben a változásban egyformán szerepe van a természettől kapott válaszoknak, a többi elméleti nyelvezethez fűződő viszonyoknak, valamint annak az új meg új formában és új meg új kérdésekben szüntelenül újjászülető követelménynek, hogy a természetet minden korszak a saját maga által meghatározott önlényegéhez fűződő kapcsolatában értse meg. Bonyolult viszony áll fenn a tudományos játék sajátos szabályai — különösen a természettel folytatott kísérletes párbeszéd, e játék legnagyobb kényszere — és azon kultúra között, amelyhez a tudós, akár tudta nélkül is, tartozik, amely befolyásolja kérdéseit, s amelyen lejegyzett válaszai rajta hagyják lenyomatukat.

A kísérletes párbeszéd módszere számunkra visszafordíthatatlan eredmény. Biztosítéka annak, hogy a természetet, amelyhez az ember kérdést intéz, *független* lényként fogjuk kezelni, s még ha netán arra kényszerítjük is, hogy ne a saját nyelvén szólaljon meg, az eljárások mindenképpen lehetetlenné teszik, hogy azt halljuk tőle, amit szeretnénk. A tudományos eredmények közölhetősége és megismételhetősége is megalapozást nyer, hiszen bármennyire részleges az, aminek kimondására a természetet kényszerítjük, ha megismételhető feltételek között szólalt meg, mindenkinek fejet kell hajtania előtte, mert nem téveszthet meg bennünket.

## 5. A mítosz a tudomány kezdeteinél

Az újkori tudomány megalapítóinak jellegzetes meggyőződése ennél sokkal nagyobb igényű. Galilei és művének folytatói úgy gondolják, hogy a tudomány képes felfedezni a természet *átfogó* igazságát. A természet nem csupán kísérletekkel megfejthető mate-

matikai nyelven szólal meg, hanem ez a nyelv az egyedüli; a világ egységes egész, a helyhez kötött kísérlet általános igazságot tár föl. A tudomány által vizsgált egyszerű jelenségek így kezünkbe adhatják a természet egészének kulcsát, melynek összetettsége csak látszólagos: a különbözőség visszavezethető a mozgás matematikai törvényeinek egyedül valóságos voltára.

Lehetséges, hogy ez a kísérleti módszerhez társuló, azt *részben előmozdító* meggyőződés az újkori tudomány kezdeteinél szükség-szerű volt. Talán szükség volt egy új, éppoly átfogó világfelfogásra, mint az arisztotelészi „biologikus” felfogás, ahhoz, hogy összetörjön a hagyomány bilincse, ahhoz, hogy olyan meggyőződésre és erős érvelésre telessenek szert a kísérleti módszer hívei, amely lehetővé teszi számukra, hogy megküzdjenek a racionalizmus uralkodó formájával. Talán „metafizikai” meggyőződés kellett ahhoz, hogy a kézművesek és gépkészítők tudását a természet racionális kutatásának új módszerévé fejlesszék, annak az alapvető kérdésfeltevésnek az új formájává avassák, amely minden civilizációban és minden kultúrában jelen van. Most már feltehetjük a kérdést, vajon milyen következményeket vont maga után egy efféle „mitikus” meggyőződés megléte a tudomány újabb kori fejlődésének gyökereit illetően. Ebben az igen vitatott kérdésben<sup>36</sup> csupán néhány megjegyzést szeretnénk tenni. Az a célunk, hogy elhelyezzük saját problematikánkat, annak a kutatásnak a kérdéskörét, amelynek minden egyes diadalát varázstalanításként a világ-automata ostobaságának fájdalmas felfedezéseként élhették meg az emberek.

Természetesen nehéz volna tagadni, hogy bizonyos társadalmi és gazdasági tényezők (különösen a kézművestechnikák fejlődése a kolostorokban, ahol az eltűnt világ tudásanyagának maradványai is megőrződtek, és a gyorsan fejlődő és fogékony kereskedővárosokban) meghatározó szerepet játszottak a tapasztalati tudomány — a kézművesek rendszerezett tudásanyaga — kialakulásában.<sup>37</sup>

Az is igaz, hogy az összehasonlító elemzések — mint Needhamé is<sup>38</sup> — feltárják a társadalmi struktúrák döntő fontosságát a középkor végén: a kézművesek és a technikai újításra fogékony termelők osztályát nem sújtja megvetés, mint Görögországban, ráadásul az értelmiség és a kézművesek többsége független a hatalomtól. Önálló vállalkozókról, feltaláló kézművesekről van szó, akik támogatókat keresnek, és szeretnék a lehető legnagyobb mértékben felerősíteni az új-

donságból eredő hatásokat, kiterjeszteni és kiaknázni a benne rejlő lehetőségeket, azt is kockáztatva, hogy e lehetőségek összeütközésbe kerülnek a kialakult társadalmi renddel. Ezzel szemben, mondja Needham, a kínai tudósok a bürokrácia szabályainak alávetett hivatalnokok voltak, olyan állam szolgái, melynek fő célja az állandóság és a rend megőrzése volt. Az iránytűt, a nyomtatást, a lőport — e találmányok nagymértékben hozzájárultak a középkori társadalom alapjainak lerombolásához, és elindították Európát az újkor felé — mind Kínában találták föl, századokkal előbb, ám ott soha nem váltak hasonló erejű bomlasztó tényezővé. Európa vállalkozó és kereskedő társadalma különösen alkalmas volt arra, hogy elősegítse és táplálja az újkori tudomány erőteljes és megújító fejlődését az első lépések megtételekor.

Ám a kérdés újra felmerül. Tudjuk, hogy a gépkészítők matematikai leírásokkal és fogalmakkal dolgoztak: a sebességek és az összeillesztett alkatrészek elmozdulása közötti viszonyok, kölcsönös mozgásuk geometriai leírása érdekelte őket. De miért nem korlátozódott ez a matematikai leírás a gépek működésére? A természeti mozgásokat miért a racionalizált gépi mozgás mintájára fogták föl? Ugyanez a kérdés feltehető az óraszerkezettel kapcsolatban is, mely a középkori kézművesség egyik csúcsát képviseli, s rövid idő alatt szabályozója lesz az első középkori közösségek életének. Az óra miért vált szinte azonnal a világrend jelképévé? Itt felsejlik az az út, amelyen végighaladva megkaphatjuk a válasz néhány elemét. Az óra *konstruált* szerkezet, alá van vetve egy rajta kívül eső racionalitásnak, egyfajta tervnek, melyet fogaskerekei vakon teljesítenek. A világ-óra metafora, mely Istenre mint Órásmesterre, a természet-automata racionális szabályozójára utal. Hasonlóképpen, a klasszikus tudomány nem egy metaforája, céljának és eszközeinek számbavétele egyaránt azt jelzi, hogy kezdetben *összecsengett* a teológiai diskurzus és az elméletre és mérésre alapozott tapasztalati tevékenység. Ez az összecsengés pedig felkelthette és megszilárdíthatta azt a hitet, hogy a tudomány emberei az „egyetemes gép” titkát tárják fel.

Ez az egybecsengés természetesen rendkívül összetett kérdéskörre vonatkozik, s elnézést kell kérnünk azért, hogy csupán megemlítjük, megoldást mégsem próbálunk találni rá. Nincsenek meg az eszközeink hozzá, de nem is áll szándékunkban azt bizonygatni, hogy egy vallási diskurzus bármilyen módon *meghatározta volna* az elméleti

tudomány létrejöttét, illetőleg azt a „világképet”, amely történelmileg a tapasztalati tevékenységhez társult. Mikor arról beszélünk, hogy két beszédmód között összecsengés van, és kölcsönösen felerősítik egymást, szándékosan olyan szófordulatokat használunk, melyek mögött nem rejlik az a feltevés, mely szerint a teológiai diskurzus vagy a „tudományos mítosz” közül az egyik volt előbb, s ez indította útjára a másikat.<sup>39</sup>

Jegyezzük meg, menet közben, hogy a nyugati tudomány keresztény eredetének gondolata több filozófusnál is felmerült, s nemcsak azért, hogy megpróbálják megérteni, miért eresztett gyökeret az ostoba természet-automatáról szóló diskurzus, hanem azért is, hogy bebizonyítsák a véleményük szerint lényegi összefüggést a tudomány és a nyugati civilizáció között. Alfred North Whitehead úgy vélte, hogy ez az összefüggés a hittel áll rokonságban: az újkori tudomány megalapozóinak „szükségük” volt a törvényalkotó Isten képzetére ahhoz, hogy kellő „tudományos hittel” fogjanak hozzá első munkáikhoz: „Vagyis arra a legyőzhetetlen meggyőződésre, hogy minden esemény, összes részletében, teljesen meghatározott módon, tehát általános elvek alapján összefüggésbe hozható saját előzményeivel. E nélkül a meggyőződés nélkül a tudósok hihetetlenül fáradtságos munkája reménytelen volna. Ez a meggyőződés ösztönös...: van egy titok, melyről lerántható a lepel... Forrása csakis egy lehet: a közép-kor nyomatókosan hangsúlyozza Isten racionalitását, melyben benne rejlik a Jehova személyéből áradó energia és a görög filozófusok racionalitása.”<sup>40</sup> Ám amikor az egyetemes törvények gondolatának folyamatosságáról beszél, melyet a Római Birodalom, majd később a keresztény egyház valósított meg a világban,<sup>41</sup> Whitehead megmarad *lélektani* síkon: a keresztény ösztökélés nem látszik elégségesnek ahhoz, hogy *elméleti* nézőpontból megmagyarázza, miért gondolják el az érzékelhető valóságot mérhetőként és számszerűsíthetőként, s miért vélik úgy, hogy a természet megértése a benne rejlő matematikai törvény felfedezésével egyenlő. Hogyan is lehetne meg a természetben a matematikai eszmény? Ezt a kérdést veti fel Alexandre Kojève, amikor azt fejtegeti, hogy a megtestesülés dogmája a keresztényeket szükségszerűen vezette arra a gondolatra, hogy az eszményt el lehet. Ha Isten megtestesülhetett és szenvedhetett, a matematikai eszmények is mérhetőek az anyagi világban.<sup>42</sup>

Nem folytatjuk a vitát, mert nem látjuk értelmét annak, hogy „bebizonyítsuk”: az újkori tudománynak ki „kellett” fejlődnie Európában. Az sem érdekel bennünket, hogy az újkori tudomány valamennyi megalapozója hitt-e az általa felemlített teológiai érvekben. Egyedül az a fontos, hogy megtalálták bennük az eszközt eszmefuttatásaik elgondolhatóságához és elfogadtatásához, s ez a helyzet egy ideig — az egyes államoktól függően eltérő mértékben — nem is változott: a XIX. századi angol tudósok szövegeiben csak úgy hemzsegnak a vallási utalások. Látható, hogy a tudomány kezdeteinek kérdése egy sokfelé ágazó kérdéskör felé térít el bennünket. A teológiai és tudományos kérdések a tudomány úgynevezett „külső” történetéhez tartoznak, vagyis a tudományos korpusz formája és tartalma között fennálló kapcsolat leírásához, valamint a társadalmi közeghez. Bennünket itt kizárólag annak a tudományos diskurzusnak a természete érdekel, amelyet a teológiai beszédmóddal való összecsengés erősített fel.

Needham<sup>43</sup> elmondja, hogy a művelt kínaiak milyen gúnyosan hallgatták a XVIII. században a jezsuitákat, amikor azok beszámoltak a tudomány diadalairól. Az a gondolat, mely szerint a természet egyszerű és megismerhető törvények igájába hajtható, a mandarinok számára az antropomorf hiszékenység iskolapéldájának tűnt föl. Needham szerint ennek a „hiszékenységnek” mély kulturális gyökerei vannak. A nyugati és kínai felfogás különbségét szemléltetendő, emlékeztet a középkori állapotokra. Többször is sor került különböző szörnyek és torzszülöttek — például tojást tojó kakas — ünnepélyes elítéltetésére és megégetésére, mert e lények megszegték az Isten törvényeivel azonosított természettörvényeket. Kínában ugyanazt a kakast feltehetően tapintatosan eltüntették volna, nem azért, mert bármiben is vétkes lett volna, hanem azért, mert szörnyű viselkedése olyan zavart keltett volna a természet összhangjához képest, ami társadalmi szintű zavarra utal: a tartományi kormányzó vagy akár a császár helyzete került volna veszélybe, ha a kakas jelképezte tünet híre elterjed. A Kínában egyeduralkodó filozófiai felfogás szerint — állítja Needham — a kozmosz önkéntelen összhang, a jelenségek szabályszerűsége nem függ semmiféle külső hatalomtól, hanem a természetben, a társadalomban és az égben, sőt magából e szilárd, egymáshoz illeszkedő, egymással senki által nem szabályozott összhangban lévő folyamatok egyensúlyából keletkezik. Ha esetükben törvényről



volna szó, az csak olyan törvény lehetne, melyet senki, sem ember, sem isten, soha nem gondolt el, és olyan nyelven van megfogalmazva, mely az ember számára megfejthetetlen; olyan törvény nem jöhet szóba, melyet valamilyen saját képünkre alkotott isten mondott volna ki, aki nem más, mint egy emberi megállapodás kivetítése a természetre.

Needham kérdéssel zárja fejtegetését: „Az újkori tudomány szemzőgéből tekintve a természet »törvényeit«, természetesen még maradványát sem találjuk a parancs és kötelezettség fogalmának. Ma másképp gondoljuk el ezeket a fogalmakat: csak az adott időpontra és helyszínre érvényes statisztikai szabályszerűségekkel, leírásokkal, nem pedig előírásokkal dolgozunk... Gondunk az, hogy ezeknek a statisztikai szabályszerűségeknek és matematikai kifejezéseiknek a felismeréséhez vajon más úton is eljuthattunk-e volna, mint amelyet a nyugati tudomány ténylegesen bejárt. Lehetséges-e, hogy az adott kultúrának ahhoz, hogy a későbbiekben megszülethessen benne egy Kepler, szüksége volt arra a lelkiállapatra, amelyben a tojást tojó kakas a törvény elé került?”<sup>44</sup>

Minden félreértést elkerülendő, szögezzük le, hogy azok közül, akiket idéztünk, senki nem állítja, hogy a tudományos diskurzus egy vallási beszédmód áttevődése lenne. A klasszikus fizika által leírt világ nem a *Genesis* világa, amelyben Isten, egymás után, megteremtette a fényt, az eget és a földet, majd az élőlényeket, amelyben a gondviselés folyamatosan ténykedik és az embert olyan történet szereplőjévé teszi, melyben üdvössége forog kockán. Épp megfordítva, amint majd látni fogjuk, időtlen világ ez, melynek, ha teremtették, egy csapásra kellett keletkeznie, mint ahogy a mérnök létrehozza az automatát, melynek működésébe később már nem avatkozik bele. Ebben az értelemben, valljuk be, a fizika ugyanúgy a vallás, mint a hagyományos filozófiák ellenében jött létre. Mégis, a világ értelmes voltának letéteményeseként egy keresztény isten képe került elő, s bizony, ez az egymásra találás egyáltalán nem volt érdekmentes. Akár azt is feltételezhetjük, hogy volt egyfajta „konvergencia” a teológusok és a fizikusok érdekei között, lévén, hogy az előbbiek számára a világ teljes alávetettségében Isten mindenhatóságának kellett megnyilvánulnia, míg az utóbbiak a matematizálható folyamatok világát kutatták.

A természetnek az újkori tudomány által megsemmisített arisztotelészi képe sem a teológusokat, sem a fizikusokat nem elégítette ki. Ez a rendezett, harmonikus, hierarchikus és racionális világ túlságosan önérvényű volt, alanyai túlságosan erősek és tevékenyek, alávetettségük a zabolátlan Úrnak gyanús és korlátozott.<sup>45</sup> Másfelől túlságosan összetett és minőségileg tagolt volt ahhoz, hogy matematizálható legyen.

Az újkori tudomány „mechanisztikus” természetképe, melyben a természet felsőbb, ám általa nem ismert terv szerint működik, s amely ezért csakis Teremtője felé fordulhat, tökéletesen kielégíti mindkét fél igényeit. Leibniz megkísérelte bebizonyítani, hogy a matematizálás elvileg összefér a sokszínű, tevékeny és minőségileg tagolt világgal, de a tudósok és a teológusok összefogtak, hogy a természetet ostoba és tétlen mechanizmusként mutassák be, melytől lényegileg idegen a szabadság és az emberi szellem célirányosságának gondolata. „*A dull affair, soundless, scentless, colourless, merely the hurrying of matter, endlessly, meaninglessly*”,<sup>46</sup> mondja Whitehead. S ez az a természet, amelyben megvalósul az érdekek említett közeledése, találkozása. Az Isten előtt álló ember képét érintetlenül hagyó természet leírásához elegendő egyetlen nyelv, s nincs szükség a Leibniz által észlelt matematikai sokszínűségre. Ez a természet, megfosztva attól, ami lehetővé tette az ember számára, hogy tevékenykedése során azonosuljon a dolgok régebbi, háborítatlan összhangjával, egy jól megfogalmazott kérdésre egyszeriben megvallja az őt kimerítő, egyetlen igazságot.

Ettől fogva a természetet leíró ember már nem tartozhat bele a természetbe, melyet kívülről ural. Itt megint szóhoz jut egyfajta teológia, hogy megmagyarázza annak az embernek a különös helyzetét, aki az újkori tudomány szerint képes — igaz, munkával, számításokkal és mérésekkel — kifürkészni a világ fizikai törvényeit. Galilei szerint az Isten képre teremtett emberi lélek képes eljutni a teremtés tervét szabályozó érzékfeletti igazságokhoz. Vagyis képes fokozatosan megismerni a világot, melyet Isten maga az érzéki tapasztalástól függetlenül, teljesen és kimerítő módon ismer.<sup>47</sup>

Ellentétben tehát az istentelenségük miatt üldözött ókori atomistákkal, illetve Leibnizcel, akit olykor azzal gyanúsítottak, hogy tagadja az isteni kegyelmet és az emberi szabadságot, az újkori tudósoknak sikerült vállalkozásukhoz kulturálisan elfogadható meghatá-

rozást találni. A természet törvényeinek alávett testben lakozó emberi szellem a kísérleti módszer segítségével képes megérteni Isten nézőpontját a világgal kapcsolatban, képes átlátni a világban átfogóan és az adott helyen megnyilvánuló isteni tervet. De ez a szellem túllép saját vállalkozása korlátain. Ha a tudós másodlagos minőségként (vagyis mint ami valójában nem tartozik a természethez, hanem csupán a szellem kivetítése) határozza is meg mindazt, ami a természet szövetét alkotja, a szagokat, a színeket, az illatokat, azért még nem kell röstelkednie. Éppen ellenkezőleg, rendkívüli egyediségét ez csak kidomborítja: minél inkább megaláztatik a természet, annál nagyobb annak a dicsősége, aki kivonja magát törvényei alól.

Érthető, hogy mi volt a jelentősége az általános tömegvonzás felfedezésének: annak a tervnek a látványos és páratlan sikere volt ez, hogy a természetet igazságának azonnali megvallására kényszerítsék, hogy rábukkanjanak arra a nézőpontra, ahonnan a magát megadó, titok nélküli természet egyetlen fölényes pillantással átfogható.

## 6. A tudomány mítosza ma

Megpróbáltuk felvázolni azt a helyzetet, amelyben a tudományos gyakorlathoz metafizikai meggyőződés társult — Galilei és követői a középkori gépkészítők problémáit feszegetik ugyan, de elszakadnak az empirikus összetettséghez túlságosan ragaszkodó tudástól, hogy Isten segítségével hitet tegyenek a világ egyszerűségének és az eszményítésnek a kísérleti módszerben feltároló egyetemessége mellett. Ám ha az újkori tudomány alapmítosza abból az egyedülálló és bonyolult egészből származott is, amelyet a középkor végén különféle gazdasági, politikai, vallási, filozófiai és technikai tényezők együttes mozgása és egymást erősítő hatása hozott létre, ennek az összetett egységnek a szétbomlása elég hamar oda vezetett, hogy a tudomány és most már bevallhatatlan mítosza magára hagyatott az átalakult kultúra kebelén belül.

A klasszikus tudomány olyan kultúra szülötte, amely az isteni és természeti rend érintkezési pontján elhelyezkedő *ember* és a racionális, megérthető *törvényhozó Isten*, a saját képünkre megalkotott önhatalmú építész szövetségének jegyében élt. A tudomány túlélte ezt a kétértelműségtől nem mentes egyezséget,<sup>48</sup> amely lehetővé tette a

filozófusoknak és a teológusoknak, hogy tudománnyal foglalkozzanak, a tudósoknak pedig, hogy kifürkésszék és megmagyarázzák a teremtésben működő isteni bölcsességet és hatalmat.

A tudósok, a vallás és a filozófia segédletével, módszerüket önmagában elégségesnek vélték, alkalmasnak tartották arra, hogy a természeti jelenségek racionális megközelítésének minden lehetőségével élni tudjon. Ebben az értelemben a tudományos leírás és a természetfilozófia közti viszonyt nem volt szükséges elgondolni: magától értetődött, hogy a tudomány és a filozófia célja ugyanaz, amiként az is, hogy a hiteles természetfilozófia alapelveit a tudomány fedezi fel. Ez az önelégültség jellemzi a tudósokat Isten visszavonulása, a teológia által nyújtott istenelméleti biztosíték semmivé foszlása után is. Igaz, a tudós egyedül marad a földön, de a tudomány, melyet örökölt, *már nem az a tudomány, amelynek meg kellett védenie módszereit az arisztotelianusok ellenében.* Ez már a XVIII. század diadalmas tudománya.<sup>49</sup> Az a tudomány, amely felfedte az égi és földi testek mozgásának törvényeit; d'Alembert és Euler megkísérelhette teljes és összefüggő rendszerbe foglalni elveit; történetét Lagrange úgy fogja megírni, mint logikus haladást a tökéletesség felé. Ez előtt a tudomány előtt tisztelegnek az abszolutista uralkodók — XIV. Lajos, majd II. Frigyes és Katalin cárnő<sup>50</sup> — alapította akadémiák. Ez a tudomány avatja Newtont nemzeti hőssé. Tehát olyan tudomány ez, mely *diadalt aratott*, mely abban a hitben él, hogy *bebizonyította*: a természet átlátható és mint ilyen le is írható. „Nincs szükségem erre a hipotézisre” — válaszolja Laplace Napóleonnak, amikor az utóbbi azt kérdezi tőle, hol található Isten az általa létrehozott világrendszerben.

Ákárcsak törekvései, az újkori tudomány dualista következményei is tovább élnek. A laplace-i tudományban, mely sok szempontból még a mi tudományunk is, egy leírás annál objektívabb, minél inkább kiküszöböli a megfigyelő személyét, minél inkább a világon kívüli nézőpontból történik — vagyis valójában abból az isteni nézőpontból, amelyhez az Isten képmására teremtett emberi lélek a kezdeti időkben még eljuthatott. A klasszikus tudomány mindig a világ egyetlen igazságát, azt az egyetlen nyelvezetet kívánja felfedezni — ma azt mondanánk, *a leírás alapvető szintjére kíván eljutni* —, amelyen megfejthető a természet teljessége, amelyből elvben minden létező levezethető. A klasszikus tudomány nem tud megszabadulni a kérdőre vont világ ostoba egyhangúságának tételétől.

E lényeges ponton idézzük Einsteint, aki mai nyelven fogalmazza meg azt, amit az újkori tudomány alapmítoszának nevezünk:

„Milyen helyzetet foglal el a világ összes lehetséges képéhez képest az elméleti fizikus? Ez a kép a lehető legnagyobb követelményeket tartalmazza a tudományos szigor és a kapcsolatok ábrázolásának pontossága tekintetében, melyeknek eleget tenni csak a matematikai nyelvezet segítségével lehetséges. Ellenben a fizikusnak annál inkább korlátoznia kell önmagát, s meg kell elégednie a tapasztalat számára hozzáférhető legegyszerűbb jelenségek ábrázolásával, mivel az összes bonyolultabb jelenséget az emberi szellem nem képes azzal az árnyalatos pontossággal és következetességgel visszaadni, amelyet az elméleti fizikus megkíván. A végletes pontosság, a világosság, a bizonyosság csak a teljesség kárára érhető el. De mi lehet vonzó abban, hogy pontosan leírjuk a természet parányi részét, s szerényen és csüggedten elfordulunk mindattól, ami finomabb és összetettebb? Az eredmény, mely ebből a belenyugvó erőfeszítésből születik, megérdemli-e a büszke »világkép« nevet?

Azt hiszem, hogy ez a büszke elnevezés megérdemelt, mert azok az általános törvények, amelyeken az elméleti fizika gondolatrendszere nyugszik, igényt tartanak arra, hogy minden természeti jelenségre érvényesek legyenek. Minden természet- és életfolyamat képét, illetve elméletét meg kellene bennük találni — a tiszta gondolati dedukció révén —, ha ugyan a dedukció folyamata nem haladná messze túl az emberi gondolkodás teljesítőképességét. A fizikai világkép nem elvből mond le a tökéletességről.”<sup>51</sup>

Mint mondtuk, egy ideig egyesek még azzal áltathatták magukat, hogy a gravitáció törvényében megfogalmazott vonzóerő a természetnek belső hajtóerőt kölcsönöz, s általános formában megmagyarázza a mind sajátosabb és egymással összefüggő mozgásformákat, beleértve az emberi társadalmat alkotó kölcsönhatásokat is. Az a remény, hogy a newtoni erők kiszabadíthatják majd a világot mechanisztikus alávetettségéből, hamar semmivé foszlott. Az erőhatások világa nem adhatott kielégítő választ a romantikus várakozásokra, és nem tette lehetővé a tudósnak, hogy a felfoghatónak és átláthatónak kikiáltott természet kebelén belül kilépjen az élettől idegen megfigyelő szerepből.

Ez a kudarc és más egyéb, arra irányuló kísérletek kudarca, hogy felélesszék a tudomány törekvéseit — miközben tagadják mítoszáat —,

a klasszikus látásmód félelmetes egységének tanúbizonysága számunkra. Az egyetlen gondolatkísérlet, amely képes volt megszabadulni e bilincsektől, a természet befolyásolását és az előrelátást kizárólagos célként tételező megértésre irányuló terv pozitívista kétségbe vonása volt. A XIX. század felfedezni véli: az igazság szomorú, és a tudományos fejlődés lényege, fittyet hányva a tudós személyes meggyőződésére, soha nem változik. Akármire is nyúl is a klasszikus tudomány, az kiszikkad és elhal, elvész belőle a minőségi különbözőség, az egyediség, és valamilyen általános törvény egyszerű következményévé satnyul. Az, ami az újkori tudomány megalapítói számára ihletadó *meggyőződés* volt, ezentúl magának a tudománynak a *következményeként*, annak sikeréből, s úgy látszik, a tudományos racionalitásból és objektivitásból eredő kényszerként jelenik meg.<sup>52</sup> Amikor a fizikus eredményeinek általános jelentőségét akarja megmagyarázni, amikor kulturálisan értelmezhető távlatba kívánja helyezni azokat, nem áll rendelkezésére más nyelv, mint a mítoszé, vagyis az az egyedüli összefüggő beszédmód, amely képes kielégíteni a tudományos tevékenység mélyebb követelményét: megérteni a természetet, valamint azt, hogy miképpen illeszkednek a természetbe az emberi társadalmak.

Visszatértünk kiindulópontunkhoz, ahhoz a gondolathoz, mely szerint nem az általában vett tudomány, hanem a *klasszikus* tudomány az, amely — egy kultúra terméke, sőt huzamosabb ideig a kulturális egység jelképe lévén — meghatározta az általunk leírt kulturális válságot. Abban az új világban, amelyen belül, azzal kölcsönhatásban kialakult, a klasszikus tudomány nem volt képes olyan új összefüggést létrehozni, mely kielégíthette volna kettős becsvágyát: megérteni és alakítani a világot. A tudós állandó ingadozásra kényszerült a tudomány mítosza és a „tudományos komolyság” megilletődöttsége között, a tudományos igazság feltétlen és átfogó jellege melletti kiállás és azon leegyszerűsítő felfogás között, mely a tudományos elméletet pusztán gyakorlati előírásnak tekintette, mely hozzásegít ahhoz, hogy eredményesen befolyásoljuk a természeti folyamatokat. Korunk kulturális útvesztőjében a természettudományok végül olyan valóságként tűnnek fel, amely kibújik az elemzés alól. Ezzel egyidejűleg a többi szellemi tevékenység, a művészetek, a filozófia, az ember- és társadalomtudományok nemcsak elvesztették egyik legfontosabb ihletforrásukat, hanem — ha hangsú-

lyozni kívánják saját eredetiségüket — kénytelenek harcot folytatni azért, hogy kivonják magukat a természettudományos modell — minél homályosabb, annál vonzóbb — bűvköréből.

Mint mondtuk, állításunk értelmében a klasszikus tudomány mára elérkezett saját határaihoz; ennek az elméleti átalakulásnak megnyilvánulása — mint majd látni fogjuk — az, hogy egyértelművé vált azon klasszikus fogalmak korlátozottsága, amelyek a világ teljes, maradéktalan megismeréséről biztosították azokat, akik hittek egyetemes érvényességükben. Mert ha a mindentudó lények — Laplace és Maxwell démona, Einstein istene — még ma is sűrűn előfordulnak a tudományos művekben, ez nem az archaizálásnak, a pusztá hiszékenységnek vagy a „tudós önkéntelen filozófiájának” a tanújele. A klasszikus tudomány elméleti tartalmának igen nagy szerepe van abban, hogy megszilárdult a mindenható tudás mítosza. Ezért mi is teszünk majd ilyen jellegű utalásokat, egyrészt azért, hogy megvizsgáljuk elméleti mondanivalójukat, másrészt azért, hogy megértjük, ma miért nem állnak meg a lábukon: biztos jelzőfények számunkra, mert lehetővé teszik a klasszikus tudomány elméleteinek azonosítását. A klasszikus tudomány ma tapasztalható átváltozásai e tudomány végét jelzik.

A newtoni rendszer előestéjén John Donne így siratta el a Kopernikusz által lerombolt arisztotelészi egyetemességet:

And new Philosophy calls all in doubt,  
The Element of fire is quite put out,  
The Sun is lost; and th' earth, and no man's wit  
Can well direct him where to look for it.  
And freely men confess that this world's spent,  
When in the Planets and the Firmament,  
They seek so many new, then they see that this  
Is crumbled out again to his Atomies  
'T is all in Pieces, all coherence gone.<sup>53</sup>

Szétszóródott darabokból és szétszakadt elemekből álló mai kultúránkban kirajzolódik — akárcsak Donne korában — egy újfajta egység lehetősége. A klasszikus tudomány, egy egyszerű és tétlen világ mitikus tudománya halódik, s nem a filozófusok éles bírálata, nem is az empiristák fásultsága, hanem saját fejlődése végez vele.

Jelenleg azt látjuk, hogy a newtoni mítosszal felhagyni szándékozók — anélkül, hogy lemondanának a természet megértéséről — bizonyos értelemben közelednek egymáshoz. Meg fogjuk mutatni, hogy ez a közeledés világosan kirajzolódik néhány alapvető kérdésben: gondoljunk a klasszikus tudomány szerint visszafordítható időre, amely egyedül a mozgás — minden változás forrása — mérésétől függ; gondoljunk a megújulóképessegre, amelyet a klasszikus tudomány tagadott, és szembeállította vele a világ-automata képét; gondoljunk a minőségi különbözőségekre, amely nélkül sem változás, sem tevékenység nem képzelhető el, s amelyet a klasszikus tudomány egyszerű látszatként kezelte. A mai tudomány szerintünk azért kerül ki a newtoni mítosz rabságából, mert *elméletileg* kikövetkeztette, hogy a természet nem vezethető vissza az általános törvények által igazgatott valóság rejtett egyszerűségére. A mai tudomány már nem utasíthatja el más nézőpontok érvényességét, s különösen igaz ez a humán tudományok, a filozófia és a művészet nézőpontjára.

Összecsengést emlegettünk tudományos és teológiai beszédmód között. Manapság egy másik egybehangzás kerül előtérbe, mégpedig az, amelyik a tudományok és az iparosodott világ „laikus” uralma között áll fenn, s amelyet felerősít az uralomgyakorlás és a tudomány elkülönült, néma működése közötti jól ismert kölcsönhatás.

Véleményünk szerint a metamorfózison átesett tudomány újra képes lesz a párbeszédre a kultúrával, s ami ettől elválaszthatatlan: új szövetség jöhet létre a természettel, melynek változásai meghatározzák a kísérletező játékot és a kutatás kalandját. Ez természetesen csak lehetőség. Ha manapság maga a tudomány szólítja is fel a tudóst, hogy tágítsa látókörét, és lépjen ki elzárkózásából, ha a dogmatizmusnak és a lenézésnek kedvező elméleti ürügyek eltűntek is, még előttünk áll a kultúra átjárhatóságát biztosító csatornák megteremtésének politikailag és társadalmilag valós feladata.



## II. A valóságos azonosítása

### 1. Newton törvényei

Most pedig vegyük szemügyre közelebbről a klasszikus tudományt! Egyfelől azért, hogy megértsük erősségeit, hogy lássuk, mit sikerült végérvényesen elhódítania a természettől, másfelől azért, hogy megértsük gyengeségeit is, mindazt, aminek tagadására rákényszerült, és ami ma újra megjelenik a színen.

Galilei óta a fizika egyik fő problémája, sőt mondhatnánk, középonti problémája a testek gyorsulásának kérdése. A természetet kérdőre vonták a testek mozgási és nyugalmi állapotából eredő változások okait firtatva, és sikerült is matematikai formába önthető válaszokat kapni tőle. Galilei felfedezte, hogy ha a mozgásállapotban nem történik változás, akkor ezen állapot *okával* kapcsolatban nem kell kérdést feltenni a természetnek, mint ahogy a nyugalmi állapotokát sem kell kutatni: mozgás és nyugalom maguktól, örökkön fennmaradó állapotok, feltéve, ha semmi nem zavarja meg őket. Rá kell kérdezni viszont minden nyugalomból mozgásba, mozgásból nyugalomba való átmenetre, minden sebességváltozásra. Ám nem lehet rákérdezni a test gyorsulásának okára, a kérdés csak az átalakulás hogyanjára vonatkozhat. A cél a változás leírása, a matematikai törvény megfogalmazása.

A mozgástörvények newtoni megfogalmazása két egymásba indázódó fejlődés egységbe foglalása: a fizikáé — a mozgás leírása Kepler törvényeivel, valamint a testek esésének Galilei-féle törvényei — és az „infinitezimális” számításban kiteljesedő matematikáé.

Hogyan írható le a folyamatosan változó sebesség? Miképpen írható le pillanatról pillanatra a mozgó test pillanatnyi állapotát jellemző különböző mennyiségek — helyzet, sebesség, gyorsulás — válto-

zása? A matematikusok a válaszadáshoz bevezették a végtelenül kis mennyiség fogalmát. Egy végtelenül kis mennyiség a *határátmenetből* származik, egy adott mennyiség változását jelenti két egymást követő pillanat között, amikor a két pillanat közti intervallum a zérushoz közelít. Az infinitezimális leírás tehát a változást felbontja végtelenül kis változások végtelen sorozatára, míg azt megelőzően csupán mint véges mennyiségek véges számú, egy nyaklánc gyöngyszemeihez hasonló egymás mellé rendelt változásának eredményeként tudták leírni.

A mozgó test pillanatnyi állapotának leírása során nemcsak a helyzetét kell megadnunk — melyet  $r$ -rel fogunk jelölni —, hanem „pillanatnyi hajlandóságát” is arra, hogy módosítsa helyzetét — ez a  $v$ -vel jelölt pillanatnyi sebesség —, továbbá arra való hajlandóságát, hogy módosítsa ezt a sebességet: ez az  $a$  gyorsulás. A pillanatnyi sebesség és gyorsulás „határértékek”, melyekkel a pillanatnyi változást mint két végtelenül kis mennyiség közti viszonyt mérjük: vagyis a helyzet- vagy sebességmennyiségnek a zérus felé közelítő  $\Delta t$  időintervallum alatti változását osztjuk magával a  $\Delta t$  intervallummal. Az ilyen mennyiségeket „idő szerinti differenciálhányadosnak” nevezzük. Leibniz óta így írjuk:  $v=dr/dt$ . Ami pedig a gyorsulást illeti,  $a=dv/dt=d^2r/dt^2$  egy derivált deriváltja, *második derivált*.

A newtoni fizika problémája a második derivált, valamely anyagi rendszer különböző pontjaiban egy-egy pillanatban megfigyelhető gyorsulás kiszámítása. Az egyes pontoknak egy véges időintervallum alatti mozgása *integrálással* számítható ki, vagyis az adott intervallum alatt bekövetkezett végtelenül kis sebességváltozások összegezésével. A legegyszerűbb eset az, amikor  $a$  állandó (például egy test esésekor  $a$  egyenlő a  $g$  gravitációs állandóval). Általában a gyorsulás maga is változik az időben, és a fizikus feladata éppen az, hogy meghatározza ennek a változásnak a természetét.

Newtoni nyelven a gyorsulás tanulmányozása a vizsgált rendszer pontjaira ható különböző „erők” meghatározását jelenti. Az, amit hagyományosan Newton második törvényének neveznek,  $F=ma$ , azt fejezi ki, hogy az egy pontra ható erő és az általa kiváltott gyorsulás között minden pillanatban arányosság áll fenn; az arányossági tényező a tömeg. Erő és gyorsulás eme megfelelése vezet a dinamika világára jellemző oksági struktúra matematikai változatához: ennek a

világnak bármely pillanatában mozgás csakis valamilyen erő hatására jön létre, változik vagy fejeződik be.

Tömegpontok rendszerének esetében a probléma azzal bonyolódik, hogy a ható erők értéke minden pillanatban azon gyorsulások függvényében változik, amelyeket ezek az erők a megelőző pillanatban létrehoztak. A newtoni fizika által vizsgált erők voltaképpen azon testek rendszerének térbeli elrendeződésétől függenek, amelyek között fellépnek, tehát a testek közötti távolság változásával maguk is változnak.

Minden dinamikai probléma differenciálegyenletek rendszereként fogalmazható meg. Egy rendszer minden egyes pontjának pillanatnyi állapota leírható sebességével és gyorsulásával, vagyis első és második deriváltakkal. Ez az egyenletrendszer a következő helyzetet tükrözi: a rendszer pontjai közötti távolságtól (tehát  $r$ -től) függő erő-együttes minden egyes pontra vonatkozóan minden egyes pillanatban létrehoz egy bizonyos  $dv/dt$  gyorsulást. E gyorsulások együttese a továbbiakban meghatározza a pontok közötti távolság módosulását, és így a következő pillanatban ható erők együttesének eredőit is.

A differenciálegyenletek rendszerében *megfogalmazott* dinamikai problémára az egyenletek „integrálása” adja meg a *megoldást*. A mozgásegyenletek integrálása a rendszer pontjaira vonatkozó  $r(t)$  *mozgáspályák* együttesének kiszámítása. A kölcsönhatásban lévő pontok együttesének téridőbeli pályája tartalmazza a dinamika által lényegesnek tartott összes információt. Leírásuk a dinamikai rendszer teljes leírásával egyenértékű.

Tehát minden dinamikai leíráshoz kétfajta empirikus adatra van szükség: egyfelől a rendszer minden egyes pontja *egy adott pillanatban vett helyzetének és sebességének leírására* — ezt a pillanatot gyakran kezdő pillanatnak nevezik, mert a dinamikai egyenletek integrálása ebből a „kezdő állapotból” kiindulva bontja ki az egymásra következő állapotokat, azaz a külön-külön, pontszerűen meghatározott pályák együttesét —, másfelől *a dinamikai erők természetének meghatározására*, vagyis annak ismeretére, hogy az általuk kiváltott pillanatnyi gyorsulások hogyan következnek a rendszer pillanatnyi állapotából.

Ami a második pontot illeti, ismeretes, hogy a newtoni tudomány diadala nem más, mint annak felfedezése, hogy egy és ugyanaz az erő, a tömegvonzás határozza meg a bolygók, az üstökösök és a Földre hulló testek mozgását. Bármilyen két anyagi testről van is

szó, bármekkora is egymáshoz viszonyított távolságuk és tömegük, a newtoni rendszer értelmében ugyanaz a vonzóerő köti össze őket, s az erő, mely egymás felé hajtja őket, egyenesen arányos tömegük szorzatával, és fordítottan arányos az őket elválasztó távolság négyzetével.

A newtoni dinamika így kétszeresen is egyetemesként jelenik meg. A tömegvonzás törvényének definíciója, mely leírja a tömegek egymáshoz való közeledésének módját, nem tartalmaz semmilyen, a jelenségek léptékére vonatkozó utalást. Egyformán alkalmazható az atomok, a bolygók és egy galaxis csillagainak mozgására: minden testnek, függetlenül méretétől, van tömege, azaz alá van vetve a newtoni kölcsönhatás erőinek. Másrészt, ha egy dinamikai rendszert úgy határozunk meg, hogy minden egyes pontjának mozgását minden egyes pillanatban az őt alkotó tömegpontok együttesének helyzete és sebessége szabja meg, akkor — szigorúan véve — az egyedüli dinamikai rendszer maga az Univerzum. Mivel a testek, függetlenül az őket elválasztó távolságtól, kölcsönhatásban vannak egymással a Világegyetemben, a lokális dinamikai rendszerek — mint a bolygórendszer is — csupán közelítésszerűen határozhatók meg, úgy, ha eltekintünk azoktól az erőktől, amelyek túl kicsik azokhoz képest, melyeknek hatását ki akarjuk számítani.

Még egyszer tehát: a mozgástörvények formája bármilyen dinamikai rendszerben mindig ugyanaz marad,  $F=ma$ . Felfedezhetünk még más erőket a vonzóerőn kívül — és valóban, fel is fedeztek ilyeneket: példának elegendő lesz az elektromos vonzás és taszítás erőit megemlíteni —, s ezek az erők módosítani fogják a mozgástörvények empirikus tartalmát. Nem fogják módosítani azonban *formájukat*, azt, ami alapvetően meghatározza a dinamika világát, nevezetesen, hogy a változást mozgáspályák halmazára redukálják. Ezt a mozgáspályák három tulajdonsága teszi lehetővé: *a törvényszerűség, a determinizmus és a megfordíthatóság*.

A mozgáspályát meghatározó dinamikai törvény a pillanatnyi gyorsulások összességét a rendszer pontjai között működő, kölcsönviszonyban álló erőkből vezeti le. Feltételezi tehát, hogy az erők természete, az, ahogyan a pontok közötti távolság függvényében változnak, meghatározott. Ám egyes tényleges dinamikai folyamatok nem írhatók le vele, csupán az összes lehetséges folyamat meghatározásához elégséges. A pálya kiszámításához a mozgástörvény ismeretén kívül még a rendszer egy pillanatnyi állapotának empirikus

ismerete is szükséges. Az általános törvény ebből a „kezdeti állapotból” vezeti le azokat az egymást követő állapotokat, amelyeken a rendszer áthalad, éppúgy, mint ahogy a logikai levezetés a premisszákból kiindulva eljut a következtetésig. Vegyük észre, hogy ha ismert a törvény, akkor bármelyik különös állapot ismerete elégséges a rendszer teljes meghatározásához, beleértve nemcsak jövőbeli, hanem múltbeli kibontakozását is, mely ehhez az állapothoz vezetett. Minden egyes pillanatban benne rejlik tehát az egész. A dinamika minden állapotot egyenértékűként határoz meg, mert mindegyikükből el lehet jutni az összes többihez, és meg lehet jósolni a rendszer változását alkotó valamennyi pályát.

„Minden adott” — ez a kifejezés, melyen Bergson annyit töprengett, összefoglalja a dinamikát és az általa leírt valóságot; minden adott a kezdeti értékekben. A dinamikai folyamatok általános törvénye mindaddig nem tesz lehetővé semmilyen, különös esetre vonatkozó jóslást, amíg a rendszer valamelyik állapota nincs meghatározva. Amint ez megtörtént, a törvény már teljesen meghatározza a rendszert, lehetővé teszi, hogy levezessük változását, és kiszámítsuk bármely elmúlt vagy elkövetkező pillanatbeli állapotát.

Minden adott, de lehetséges is minden. Az a lény, akinek hatalmában állna irányítani egy dinamikai rendszert, e rendszer számára bármilyen állapotot elképzelhetne. Ha ez az állapot nincs ellentmondásban a rendszer dinamikai definíciójával, ki lehet számítani azt a kezdeti állapotot, amelyből a rendszer „spontán módon” eljuthat a kívánt állapotba a kívánt pillanatban. A dinamikai törvények általános jellegével szemben áll a kezdeti feltételek és ezáltal az egyes mozgáspályák önkényes volta.

Ami a dinamikai pályák *megfordíthatóságát* illeti, emellett többé-kevésbé a dinamika valamennyi megalapítója letette a voksát, köztük Galilei és Huyghens: valahányszor meg akarták magyarázni az ok és az okozat közötti ekvivalenciaviszonyt, amelyre a mozgás matematikai leírását kívánták alapozni, egy elképzelt eljáráshoz folyamodtak, melyet legjobban a talajról visszapattanó, tökéletesen rugalmas labda példájával lehetne szemléltetni. Elképzelték a vizsgált mozgó tárgy sebességének hirtelen megfordulását, és leírták, hogyan tér vissza a tárgy kiinduló helyzetébe, miközben visszaáll eredeti állapotába mindaz, ami a kiindulási pillanat és a megfordulás pillan-

nata közötti gyorsuló mozgást eredményezte. A példánál maradva, a labda visszatér eredeti magasságába.

A dinamika a megfordíthatóságot tulajdonságává teszi mindenfajta dinamikai folyamatnak. A régi képzeletbeli kísérlet tulajdonképpen nem volt más, mint a dinamikai egyenletek általános matematikai tulajdonságának szemléltetése: ezeknek az egyenleteknek a szerkezetéből következik, hogy ha egy rendszer összes pontjainak a sebessége hirtelen megfordul, az eredmény olyan, mintha a rendszer „visszaemenne az időben”. Valóban, a rendszer fordított irányban befutja mindazon állapotokat, melyeken keresztül megelőző változása során áthaladt. A dinamika *matematikailag egyenértékűként* határozza meg a  $t \rightarrow -t$  és a  $v \rightarrow -v$  átalakulást, azaz az idő irányának és a sebességeknek a megfordulását. Amit egy dinamikai változás véghezvitt, az megfordítható, és létrehozható a kiindulási helyzettel azonos helyzet.

A dinamikai megfordíthatóság tulajdonsága olyan nehézséget vet fel, melynek alapvető jellege csak a kvantummechanikával válik világossá. Minden beavatkozás, kísérlet, mérés lényegénél fogva visszafordíthatatlan. A *tevékeny* tudomány így *per definitionem* idegenként áll szemben az általa leírt, megfordítható világgal, bármennyire kielégítő is belsőleg egy ilyen leírás. De a megfordíthatóság ebből az utóbbi szempontból is felfogható úgy, mint a dinamika által leírt világ idegenségének jelképe. Mindenki számára ismerős az a képtelen hatás, melyet a visszafelé vetített filmek, a lángból újjászülető gyufaszál, az összeilleszkedő és az asztalon újra helyet foglaló összetört tintatartó látványa — miután a tinta visszafolyt belé —, vagy a visszafejlődő és visszarügyező ágak képe kelt. A dinamika világában ezek a folyamatok éppúgy lehetségesek, mint az általunk ismert ellentétes előjelű történések.

## 2. Mozgás és átalakulás

Tudjuk, hogy Arisztotelész az időt a változás mértékévé tette. Ám felismerte a természeti változások minőségi sokféleségét is. Az idő a dinamika számára is a változás mértéke: ez az a változó, amelyben kibontakozik a törvény hatása, s amelyben megnyilvánul a dinamikai állapotok végtelen sora. Az idő — a dinamikában használatos mérték — azonban nem valamiféle általános idő, amely közös a minőségileg

különböző folyamatok összességében; e folyamatok mindegyikének saját oka és saját ritmusa van. A dinamikai idő nem csupán a dinamikai folyamatok mércéje, hanem ő maga az a dinamikai folyamat, melyre — feltételezéseink szerint — elvileg a természeti folyamatok összessége visszavezethető. A változások minőségi sokfélesége leszűkül az egységes idő egynemű és örök folyamatára, s ez az idő minden folyamat *mértéke* és egyben *oka* is. Hogyan érthető meg a természeti változások eme új felfogása?

Érdemes ezt a kérdést úgy megközelíteni, hogy a dinamikai folyamatot összehasonlíttuk a változások atomista felfogásával, mely uralgó volt abban az időben, amikor Newton megfogalmazta törvényeit. Észre fogjuk venni, hogy nemcsak Descartes, Gassendi és d'Alembert, hanem még Newton is úgy gondolta, hogy a mozgásváltozás végső, ha nem egyedüli oka a rugalmatlan atomok összeütközéseiben keresendő.<sup>54</sup> Mégis, az a dinamikai felfogás, amelynek megalapozásához az említettek hozzájárultak, szinte pontról pontra ellentétes azzal, amely az atomista feltevésből következik.

A dinamikai egyenletek által leírt gyorsulás folytonos jellegével szemben áll a nem-folytonos ütközés, a rugalmatlan elemi részek pillanatonkénti ütközése, melyből, ellentmondásban a dinamikával — ahogy már Newton felismerte —, megfordíthatatlan mozgásvesztés származik. Az egyetlen megfordítható ütközés, vagyis az egyetlen olyan, amely nincs ellentmondásban a dinamika törvényeivel, a rugalmas ütközés. De hogyan lehetne a rugalmasság összetett tulajdonságával felruházni az atomokat, ha egyszer azokat éppen a természet elsődleges elemeinek szeretnénk megtenni?

Másfelől — kevésbé technikai szempontból nézve —, a dinamikai mozgás általános törvényével szemben áll az a véletlenszerű jelleg, amelyet az atomok ütközéseinek általában tulajdonítanak. Már az ókori filozófusok is hangsúlyozták, hogy a mozgás és az üres térben ütköző atomok fogalmával értelmezhető természeti folyamatok mindegyikét többféleképpen lehet magyarázni, s e különböző magyarázatok egyformán elfogadhatók. Ez az atomista filozófus számára érdektelen, mert az ő legfőbb célja az, hogy kimutassa az efféle magyarázat kielégítő voltát, vagyis azt, hogy nem szükséges a természet fölöttihez folyamodni, és olyan világ leírását tűzi ki célul, melyben sem isten, sem viselkedési előírások nincsenek, olyan világét, melyben az ember szabad, és nem kell sem büntetésre, sem jutalomra

számítania semmilyen isteni vagy természeti hatalom részéről. De mi a kapcsolat e halandó, változó világ, melyben az atomok szüntelenül egyesülnek és szétválnak, a lények megszületnek és elpusztulnak, és a dinamika változatlan világa között, mely egyetlen matematikai formula, a tautologikus változásban kiteljesedő örök igazság alá van rendelve? Az újkori tudomány, a mérnökök meg csillagászok tudománya a befolyásolás és az előrelátás tudománya, valamint az az általános meggyőződés, hogy minden megmagyarázható az atomokkal, nem elégítheti ki igényeit. A matematikai törvény az, ami ténylegesen lehetővé teszi az előrelátást és a befolyásolást. A természet többé nem rendezetlen, rendszertelen és statisztikai valószínűségeken alapuló, hanem törvényszerű, uralható és előrelátható.

A XX. században újra előtérbe kerül az az ellentét a determinisztikus törvényszerűség és az események esetlegessége között, amelyről Koyré kimutatta, hogy már Descartes-nak is sok fejtörést okozott.<sup>55</sup> Valóban, a gázok kinetikus elméletével az atomi káosz már a XIX. század végétől kezdve ismét a fizika tárgyává lett: kitűnt, hogy egy számoselemű sokaság kaotikus viselkedése, mint amilyen a gázmolekulák viselkedése, a megjósolható viselkedés iskolapéldája. Így a dinamikai törvény és a statisztikai leírás viszonya kitüntetett helyre került a fizikában, s a dinamika jelenlegi megújulásának kulcskérdésévé vált (lásd lentebb, a III. könyvben).

A XVIII. században azonban úgy látszott, nincs kiút ebből az ellentmondásból, ami, mellel, részben magyarázatot is ad arra, hogy *a kor* fizikusainak többsége kétkedéssel tekintette a dinamikai leírás érvényességét. Ugyanis tudták, hogy az infinitezimális dinamikai leírás figyelmen kívül hagyja az ütközés folyamatát, amely pedig a mozgásváltozások számukra egyetlen érthető oka volt. Azt is tudták, hogy a természetben, mihelyt ütközés, sűrűlódás, különböző sebességű testek hirtelen érintkezése történik, mozgás vesz el, s ebből arra következtettek, hogy ezekben a nem eszményi esetekben az energia nem marad meg (erről lásd a IV. fejezet 3. szakaszát is). Tehát az atomisták számára éppúgy, mint a hatékonysággal törődő mérnökök számára lehetetlen volt, hogy a dinamikában mást lássanak, mint eszményítést, mint egységes nyelven kifejezett, csupán részleges modellt. Így a kontinens fizikusai hosszú időn át ellenálltak a newtoni eszmerendszer csábításának. Jegyezzük meg azt is, hogy e tan sikere Franciaországban együtt jár — s ez nem véletlen — a fizi-



kusok és mérnökök szakmai elkülönülésével, melyet elősegítettek a forradalom után létrejövő akadémiai intézmények is.

De hol rejtőznek Newton rendszerének és a változásról vallott felfogásának gyökerei? Ez a szintézis<sup>56</sup> az eszményi gépek tudománya — amikor is a mozgást egymással már érintkezésben lévő egységek továbbítják egymásnak ütközés és súrlódás nélkül — és az egymásra távolról ható csillagok tudománya között jött létre, s ez az elképzelés nagyon is az atomizmus, a véletlen és az ütközések tudománya *ellenében* épült fel. De vajon ezért igazat kell-e adnunk azoknak, akiknek hite szerint a newtoni dinamika, amennyiben minden természeti folyamatot kizárólagosan a távoli kölcsönhatásokból eredeztet, valódi újdonságot, gyökeres törést hozott a gondolkodás történetében? A pozitivista történetírás mindig is ezt akarta velünk elhitetni, amikor élénk állította azt a bátorságot, amellyel Newton a bolygómozgás matematikai tanulmányozásából és a testek esésének törvényeiből egy olyan „erő” hatására következtetett, amely lehetővé teszi, hogy első látásra egymással össze nem illő jelenségeket egységes formulában foglaljunk össze. A történelmi valóság azonban nem egészen vág egybe a pozitivista normákkal. Newton kortársai ezeket egyáltalán nem is ismerték, és igencsak felháborodtak volna rajtuk.

Vajon mit mondtak volna azok, akik a kontinensen gyanakvással, már-már felzúdulással fogadták ezt az „erőt”, mely furcsa módon az okkult tulajdonságokkal, a régi fizika vonzalmaival és vonzóerőivel volt rokon, s mit mondtak volna a racionalitás és a mechanisztikus szigor védelmezői, ha ismerték volna a newtoni erő különös történetét? Newton óvatos nyilatkozatai mögött („nem állítok fel hipotézist az erők természetére vonatkozóan”) ugyanis egy alkimista szenvedélye rejlett.<sup>57</sup> Matematikai tanulmányaival párhuzamosan, Newton harminc éven át tanulmányozta a régi alkimista iratokat, és aprólékos, kitartó laboratóriumi munkával próbálta megvalósítani a nagy művet, a bölcsek követ: aranyat akart csinálni.

A newtoni szintézist, az ég és föld egyesítését nem csillagász, hanem egy vegyész hajtotta végre. Amiből a tehetetlen anyagot mozgató és a természet tevékenységét valójában alkotó newtoni erő származott, az, nagyon is úgy látszik, az az erő, amelyet a kémikus Newton a testek között megfigyelt: vonzó- és taszítóerők, melyek az anyag „társas életét” szabályozzák, minden egyes test esetében meg-

határozzák, hogy mely más testekkel léphet tartós kapcsolatba, miképpen bonthatja fel taszítással a vegyületeket, közvetítőként<sup>58</sup> hogyan teheti lehetővé más testek közeledését és párosodását.

Természetesen az égi pályák tanulmányozásának döntő jelentősége volt. Newton kezdetben — 1679 körül — minden jel szerint csupán új, a vegyi erőkhöz *hasonló* s matematikailag könnyebben vizsgálható vonzóerők hatását remélte kimutatni bennük. Vagy hat évvel később a matematikai vizsgálat során váratlan eredményre jutott: nemcsak hasonlóság van a bolygókat összekötő erők és a testek esését gyorsító erők között, hanem azonosság is. A vonzás nem az egyes bolygók tulajdonsága, hanem ugyanaz marad, legyen szó a Föld körül keringő Holdról, a bolygókról vagy a Naprendszer átszelő üstökösökről. Newton az égben olyan erőket keresett, amelyek hasonlatosak a kémiai erőkhöz, azokhoz az vegyi rokonságokhoz, amelyek az egyes kémiai vegyületek eltérő, sajátos tulajdonságait alkotják, s meghatározzák e vegyületek mindegyikének minőségileg eltérő hatóképességet. Végül azonban egy általános törvényt fedezett fel, melyről attól fogva azt állította, hogy minden vegyi, mechanikai és égi jelenség esetében érvényes.

A newtoni szintézis tehát nem szakítás, hanem *meglepetés*. Váratlan, felkavaró felfedezés, melyről a kultúra úgy emlékezik meg, hogy Newtont az újkori tudomány jelképekévé teszi meg. Ez a tudomány feltételezte, hogy a rendezettség egyetemes, feltételezte, hogy gondos méréseken és beavatkozásokon alapuló módszerével eljuthat a világ igazságának megismeréséhez. És valóban, a természet hagyja magát felfedni, válaszol, és még jócskán túl is tesz az őt vallatóra fogók várákozásán.

A természetnek ez a hirtelen bőbeszédűsége, az angol „Mózes” eme diadala sokáig intellektuális botránykönek számított a kontinens racionalistáinak szemében. Newton művét tisztán tapasztalati felfedezésnek tekintették, s senki sem lett volna meglepve, ha a tapasztalat rácáfol. 1747-ben Euler, Clairaut és d'Alembert — kétségkívül a kor legnagyobb tudósai — ugyanarra a következtetésre jutnak: Newton tévedett. Ha ugyanis le akarjuk írni a Hold mozgását, összetettebb matematikai formára kell hozni a vonzóerőt, melyet két tényező összegének kell tekinteni. Ekkor — még két évig — mindenki meg volt győződve arról, hogy a természet végül is meghazudtolta Newtont, s ez a hit izgalmat ugyan kivált, zavarodottságot azonban

nem. A fizikusok, akiktől igen távol állt, hogy a newtoni felfedezést magával a fizika tudományával azonosítsák, minden sajnálkozás nélkül készültek lemondani róla. D'Alembert még azt is kimondta, hogy nem kell további bizonyítékokat keresni Newton ellen, hiszen az már csak „a végső rúgás lenne a döglött oroszlánba.”<sup>59</sup>

Csupán egyvalakiben volt bátorság ahhoz, hogy szembeszálljon a fizikusok ítéletével, s hogy tiltakozzon ama könnyedség ellen, amelyel e tudósok a gravitációs erő egyetemességéről le kívántak mondani. Ez a tudós Newton meggyőződéses híve, Buffon volt, aki 1748-ban így írt: „A fizikában egy törvény csak akkor törvény, ha egyszerűen mérhető, és ha a skála, melyen mérjük, nemcsak mindig változatlan, hanem az egyetlen is... Clairaut úr problémát talált Newton rendszerében, csakhogy a problémának nem szabad és nem is lehet elvé válnia, megoldást kell rá keresni, nem pedig elméletet gyártani belőle, melynek összes következményei csupán számításokon alapulnak, mert, mint mondtam, számításokkal ugyan mindent lehet ábrázolni, de valójában nem megyünk velük semmire; és ha egy vagy több kifejezést csatolunk is egy fizikai törvényhez, mint például a vonzás törvényéhez, csak az önkényesség válik világossá ahelyett, hogy a valóság tárulna föl előttünk.”<sup>60</sup>

Később Buffon kimondta azt, ami nemsokára — igaz, csak rövid ideig — a vegytani kutatás programja lett: „A vegyrokonság törvényei, melyek által a különféle anyagok alkotórészei kiválnak más anyagokból, hogy egyesüljenek és egynemű anyagot alkossanak, megegyeznek azzal az általános törvénnyel, amelynek értelmében az összes égitestek egymásra hatnak: egyformán és ugyanolyan tömeg- és távolsági viszonyok szerint érvényesülnek. Egy víz-, homok- vagy fémszemecske ugyanúgy hat egy másik szemecskére, mint ahogy a Föld golyóbisa hat a Hold golyóbisára, és ha mind a mai napig a vegyrokonság törvényeit különbözőnek tekintették a nehézkedéséitől, ez azért volt, mert nem helyesen értették és fogalmazták meg őket, és mert nem teljes kiterjedésében tekintették a tárgyat. Az elhelyezkedés, mely az égitestek esetében semennyire vagy majdnem semennyire sem módosítja a testek egymásra hatásának törvényét, lévén a távolság túlfentúl nagy, éppen ellenkezőleg, meghatározóvá válik akkor, amikor a távolság nagyon kicsi vagy semmi... Késői utódaink, számítások segítségével, új ismeretekre tehetnek majd szert

ezen a területen...”,<sup>61</sup> vagyis az elemi testek elhelyezkedéséből levezethetik kölcsönhatásuk törvényét.

A történelem igazolta a természettudóst, akinek számára az erő nem egyszerű matematikai fortély volt, hanem az új természettudomány alapja: a fizikusoknak el kellett ismerniük, hogy hibáztak. Ötven évvel később Laplace megírhatta a *Système du Monde*-ot, az egyetemes gravitáció törvénye győzedelmesen kiállta az ostromot, s az a számos eset, amelyben úgy tetszett, megcáfolódott, sorra érvényességének és termékenységének nagyszerű bizonyítékává vált. Ezzel párhuzamosan, különösen Buffon hatására, a francia vegyészek újra felfedezték a fizikai vonzás és a kémiai vegyrokonság között<sup>62</sup> fennálló különös analógiát: d’Alembert, Condillac, Condorcet gúnyolódása ellenére, akiknek szigorú racionalizmusa nemigen tudott megbékülni ezekkel a homályos és terméketlen „analógiákkal”, újra bejárták, ellenkező irányban, a csillagoktól az anyaghoz vezető newtoni utat.

A XIX. század elején a newtoni program, azaz a fizikai-kémiai jelenségek együttesének az erőhatásokra való visszavezetése — a gravitációs erőhöz egyesek még hozzávették a testeket tágulásra bíró és az oldódást megkönnyítő hő taszító erejét, valamint az elektromos és mágneses erőket is — hivatalos programjává vált a legerősebb és legbefolyásosabb tudományos csoportosulásnak, a laplace-i iskolának, amely éppúgy uralta a tudományos világot, mint ahogy a Császárság uralta ebben az időben Európát.<sup>63</sup>

A XIX. század elején létrejönnek a francia „nagy iskolák”, és újjászerveződik az egyetem. A tudósok ekkor válnak oktatóvá és hivatásos kutatóvá, akikre rendszeresen és ismétlődően rábízatik saját utódaik kiképzése.<sup>64</sup> A tudásanyag tankönyvekben és népszerűsítő művekben megkísérli önmaga szintézisét, egységesítését. A tudományról többé nem a szalonokban vitatkoznak, hanem tananyaggá válik és terjesztik. Már nem bírálják, és nincs alávetve a nagyvilági érdekeknek,<sup>65</sup> megegyezés születik róla, s ez a megegyezés, ahogy az előző fejezetben láttuk, eleinte newtoni szellemben történik. Buffon — mondhatnánk — diadalmaskodott a Fény Százada fölött.

Egy évszázaddal Newton angliai felmagasztalása után az Ampère fia által írt verssorok emelkedettsége idézi Pope sírfeliratát:<sup>66</sup>

A tudomány Krisztusának jövetelét jelezve,

a frigsátor egét megnyitotta Kepler;

S ekkor a mindenlátó istennek, kit imádott Platon,

Igéje emberré lett, s e nevet kapta: Newton.

Eljött, felfedte a legfőbb rejtélyt,

Szilárd volt, egyetemes, egy, mint az Isten.

A világok csendjében így szólt: VONZÁS.

S ez a szó, ez volt a teremtés maga.

A tudomány rövid időre — ám e rövid időszak után sokáig fognak sóvárogni a tudósok — diadalmaskodott, élvezte egy hatalmas állam elismerését és tiszteletét, átfogó és egységes világgépet tudhatott magáénak. Newton, akinek Laplace tisztelettel adózott, jelképévé, valóságos kifejeződésévé vált az aranykor tudományos igazságának, annak a szerencsés pillanatnak, amelyben a tudósokat úgy tartották számon — ők is így látták magukat — mint a társadalom által fenn-tartott és támogatott közös vállalkozás részeseit, amely termékeny elméleti összhangon alapul.

Laplace programja a Császársággal egy időben halt el, megsemmisítette számos jelenség felfedezése, amelyet képtelen volt befogadni. De vajon mondhatjuk-e, hogy a mechanisztikus kép is megsemmisült, hogy a newtoni világ elvesztette érvényességét? Egyfajta gyermeteg mechanisztikus szemlélet természetesen kipusztult — mint ahogy már akkor vége volt, amikor a geometriai fogalmakat infinitezimális fogalmakkal helyettesítették, s megjelentek a távolra ható erők. Ebben az értelemben a mechanisztikus szemlélet folyamatosan pusztult, minden egyes esetben, amikor a fizikai tudományokat valamilyen megrázkódtatás érte, ami azt jelenti, hogy mindig túl is élte őket, mint valami szüntelenül újjászülető, szüntelenül ördögűzésre váró kísértet.

Mi a jelentése tehát ma a newtoni szintézisnek a mezőelméletek, a relativitáselmélet, a kvantummechanika után? Összetett probléma ez, melyre még vissza kell térnünk. Ma már tudjuk, hogy a természet nem mindig felel meg önmagának. A mikroszkopikus világban a kvantummechanika törvényei felváltották a klasszikus mechanika törvényeit. Az Univerzum szintjén a relativista fizika ugyanígy érvénytelenítette a newtoni fizikát. Ám a mi világunkban az utóbbi mégis érvényes viszonyítási pont maradt. Akár azt is mondhatnánk, hogy meghatározásunk értelmében — vagyis amikor determinisztikus, megfordítható, statikus pályák leírásáról van szó — a newtoni dinamika a fizika lelke maradt. Sőt mi több, kedvelt terepévé vált a legnagyobb matematikusoknak és fizikusoknak (köztük Hamiltonnak és

Poincarének). Így vált egységes, absztrakt formális nyelvvé, és mint ilyet fogjuk most leírni és megmagyarázni az általa előfeltételezett változás alapeszméjét.

### 3. A dinamika nyelvezete

A dinamika formalizálása elsősorban azt a követelményt elégíti ki, hogy meghatározza a változóknak azt a „jó” együttesét, amely a rendszer leírását a lehető legegyszerűbbé és leggazdaságosabbá teszi. Olyan tehát, hogy a dinamika elvei, különösen az *energia-megmaradás elve* egyértelműen kitűnjék belőle.

Az energiamegmaradás, a helyzeti és mozgási energiák összegének megmaradási elve — a dinamikai nyelvezet szintaktikai szabályaként — megfelel annak az evidenciának, amelyre az egyszerű gépek újkori tudománya épült (erről lásd az I. fejezet 4. szakaszát): az eszményi, ütközés és súrlódás nélküli világban a gépek hatásfoka egyenlő eggyel, és a berendezés szerepe mindössze annyi, hogy továbbadja a kapott mozgás egészét. A bizonyos mennyiségű helyzeti energiával felruházott gép (megfeszített rugó, felemelt súly, összesűrített levegő stb.) olyan mozgást hoz létre, mely megfelel ugyanakkora mennyiségű mozgási energiának. Ez az energia pedig pontosan annyi, amennyivel vissza lehet juttatni a gépnek a mozgás létrehozásakor elvesztett helyzeti energiát.

A legegyszerűbb eset az, amikor az egyetlen figyelembe veendő erő a gravitációs erő. Ez az egyszerű gépek esete (csigák, emelők, csörlők stb.). Ekkor könnyű felállítani az ok és okozat közti átfogó egyenértékűséget: a test sebességét egy adott pillanatban az általa lefelé megtett  $h$  út határozza meg. Az  $m$  tömegű test esése lehet függőleges irányú, követhet ferde vagy hullámvasútszerű pályát, az általa elért sebesség ( $v$ ) és a mozgási energia ( $mv^2/2$ ) nem függ semmi mástól, csak a  $h$  szintkülönbségtől ( $v = \sqrt{2gh}$ ), s ez a testet képessé teszi rá, hogy — megint csak tetszés szerinti pályán — visszajusson eredeti magasságába. A gravitációs erő ellenében kifejtett munka, mely ehhez a felemelkedéshez szükséges, visszaadja a rendszernek azt a helyzeti energiát ( $mgh$ ), melyet az esés folyamán elveszített. Vagy jusson eszünkbe az ingamozgás, melynek során a moz-

gási és helyzeti energia váltakozva egyszer elfogy, másszor maximális értéket ér el.

Amikor nemcsak egyetlen súlyos testről és a Földről van szó, hanem testek kölcsönhatásban álló rendszeréről, természetesen már sokkal nehezebb szemléltetni a kiváltó ok és a létrejött okozat közti megfordítható egyenértékűség viszonyát. A rendszer tömegei közti távolságok, tehát a tömegek között ható erők s velük együtt a rendszer minden egyes pontjának gyorsulása pillanatról pillanatra változik. Az egyes pontokra vonatkozó gyorsulás, akárcsak a helyzeti energiának az e gyorsulás által kiváltott változása minden egyes pillanatban a rendszer összállapotának függvénye. Az egyes pontok által befutott pálya lokális szempontból tükrözi és fejezi ki a rendszer egészének változását. Vagyis az ok és okozat közti megfordítható egyenértékűségi viszony a rendszer szintjén jelentkezik. A mozgási energia globális változása, a rendszer egyes pontjaira jellemző gyorsulások mérlege, minden egyes pillanatban pontosan kiegyenlíti a helyzeti energia változását, melyet a rendszer pontjai közötti távolságok változásainak összessége határoz meg. Ebből ered a dinamikai alapelv: egy elszigetelt rendszer dinamikai változásai folyamán a rendszer energiája változatlan marad.

Az anyagi pontok viszonylagos helyzetétől függő helyzeti energia (a hagyományosan  $V$ -vel jelölt „potenciál”) annak a mennyiségnek az általánosítása, amely a mechanikusok számára lehetővé tette, hogy megmérjék azt a mozgást, amelyet egy gép térbeli elhelyezkedésének megváltoztatása folytán létrehozni képes (például a géphez csatolt  $m$  tömeg magasságváltozása  $mgh$  energiával ruházza föl a gépet). De a helyzeti energia nemcsak a mérnököket segíti a mérlegek kiszámításában. Azt is lehetővé teszi, hogy leírjuk az egyes pillanatokban a rendszer különböző pontjaira ható erők együttesét: a potenciál  $q$  térkoordinátára vonatkozó deriváltja minden egyes pontban megfelel az e koordináta irányában az illető pontra ható erőnek. Így a mozgás newtoni törvényeit úgy is meg lehet fogalmazni, hogy központi mennyiségként ne az erő, hanem a potenciál függvénye szerepeljen: egy pontszerű tömeg sebességének (vagy a tömeg és a sebesség szorzataként definiált  $p$  impulzusnak) a pillanatnyi változásai a potenciálnak a tömegpont  $q$  koordinátája szerinti deriváltjával mérhetők.

A XIX. század általánosítja a dinamikai leírást, főként azzal, hogy bevezet egy új függvényt, a Hamilton-féle  $H$  függvényt, amely ugyan

nem több, mint a rendszer helyzeti és mozgási energiájának összegezése, de úgynevezett „kanonikus változók” segítségével kifejezve. A dinamikai egyenletek a pozícióknak és a pozíciók idő szerinti deriváltjainak „intuitív terében” fogalmazzák meg a problémákat, tehát éppen olyan sokfélék, mint amilyen sokfélék ezek a problémák; a *kanonikus* egyenletek viszont lehetővé teszik e nehézség meghaladását és az összes dinamikai probléma azonos formára hozását. A dinamikai probléma kanonikus megfogalmazása igen elvont: nem teszi szükségessé már induláskor a pozíciók és az e pozíciókból derivált sebességek meghatározását. A  $q$  és  $p$  kanonikus változók (melyeket analógia alapján a  $q$  pozícióra és  $p = m \, dq/dt$  impulzusra utalva helyzet- és impulzuskoordinátáknak nevezünk) meghatározásuk szerint *egymástól független* mennyiségek. A kanonikus impulzus már nem számítható ki a pozícióból, de a pozíció és a impulzus időbeli változása — tehát az anyagi pontoknak e változókkal mért térbeli pályája is — levezethető a Hamilton-függvényből, melynek kanonikus formája így a rendszer dinamikai igazságát is magában foglalja. Az igaz, hogy az egyszerű esetekben (inga, rugó, ágyúgolyó) a kanonikus változók egybeesnek a megszokott változókkal, de ez most már csupán esetleges, és nem szükségszerű jelenség.

Az alapvető mennyiség tehát a  $H(p, q)$  Hamilton-függvény, amelyből levezethető a rendszer és változásának leírása. Az, hogy egy dinamikai problémát hamiltoni módon fogalmazzunk meg, annyit jelent, hogy először kiválasztjuk a rendszer legkielégítőbb kanonikus leképezését, majd úgy választjuk meg a  $p$ ,  $q$  kanonikus változókat, hogy az e változókat felhasználó Hamilton-függvény struktúrája a lehető legalkalmasabb legyen a probléma megoldásához, az egyenletek integrálásához. Adott dinamikai rendszernek végtelen sok olyan leképezése létezik, melyek nem egyszerűen a rendszer „intuitív” leképezésének egyszerű geometriai transzformációi: a kanonikus változók a rendszer „intuitív” pozícióinak és sebességeinek egyaránt igen bonyolult függvényei lehetnek. Ám a lényeg az, hogy az összes kanonikus leképezés egyenértékű, a rendszerre irányuló minden egyes kanonikus nézőpont tartalmazza a rendszer teljes igazságát. Ha ismerjük a kiválasztott változókat tartalmazó Hamilton-függvényt, minden egyes pontra kiszámíthatjuk e függvény hely és impulzus szerinti deriváltját:  $\partial H(p, q)/\partial q$  és  $\partial H(p, q)/\partial p$ .<sup>67</sup> Ezeknek a deriváltaknak fizikai értelmük van. Az első  $p$ -nek időben vett  $dp/dt$



változását, a második pedig  $q$ -nak időben vett  $dq/dt$  változását adja meg. A Hamilton-függvény tehát a vizsgált rendszer mozgástörvényét adja. Bármilyen leképezést választottunk is, a neki megfelelő kanonikus változók időbeli változása a Hamilton-függvényből *ugyanazokkal* a kanonikus egyenletekkel vezethető le.

A kanonikus egyenletek joggal szerepelhetnek a tudománytörténet legragyogóbb eredményei között. Hatásuk ugyanis nem korlátozódik csupán a dinamikára. Így alapvető szerepük van a „statisztikus” mechanikában, mely egymással kölcsönhatásban álló nagyszámú részecske alkotta rendszerekkel foglalkozik, valamint a kvantummechanikában, melynek tárgyai a molekulák és az atomok. Igaz, hogy ezeken a területeken a Hamilton-egyenletek jelentése általános és elvont. Mint látni fogjuk, a kvantummechanikában a helykoordináták és impulzusok Hamilton-függvényét valami új dolog, egy *operátor* helyettesíti. Ám a Hamilton-egyenletek nem tűntek el, elmondhatjuk róluk, hogy létrehozták a dinamika örök nyelvezetét, s véglegesen részévé váltak tudományunknak.

Mint mondtuk, a Hamilton-függvény a rendszer leírásához választott kanonikus változókkal kifejezett mozgási és helyzeti energiák összegét adja meg.

Míg a Hamilton-függvény minden problémának megadja különös fizikai tartalmát, a kanonikus egyenletek struktúrája minden egyes dinamikai folyamat *a priori* tulajdonságait tartalmazza. A kanonikus egyenletek *megfordíthatók*: az idő megfordítása matematikailag egyenértékű a sebességek megfordításával. Az egyenletek *konzervatívak* is: a Hamilton-függvény, mely a kiválasztott kanonikus változópár segítségével kifejezi a rendszer energiáját, önmaga nem változik az általa meghatározott folyamat időtartama során. A helyzeti energia módosulása a folyamat minden egyes pillanatában pontosan kiegyenlíti a mozgási energiáét. A rendszer energiája valójában olyan folyamatot hoz létre, melyben maga változatlan marad.

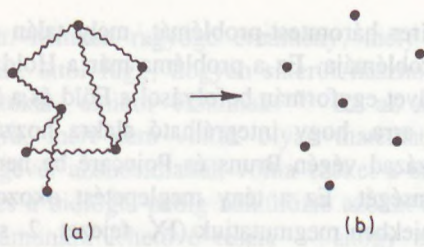
A hamiltoni dinamika elvont nyelvezetének segítségével a mozgás dinamikai felfogásának igazsága mondhatni kiteljesedik. Az állapotok sorozata a rendszernek a Hamilton-függvény által meghatározott invariáns igazsága szerinti, egymással egyenértékű nézőpontok soraként bomlik ki az időben. Megjegyzendő, hogy hamiltoni nézőpontból közömbös: figyelembe vesszük-e azt, hogy a dinamikai folyamat egy rendszer átalakulását írja-e le adott nézőpontból, avagy

egy invariáns rendszer leírásának módosítását tartalmazza, amikor is a nézőpont, azaz a kanonikus változók definíciója folytonos módon változik.

Azt mondtuk, hogy ugyanazon rendszer összes leképezései egyenértékűek; összefüggéseiket kanonikus transzformációk (a kvantummechanikában uniter transzformációk) szabályozzák, melyek megőrzik a mozgásegyenletek hamiltoni formáját. A későbbiekben felvetjük majd e transzformációk elégséges jellegének kérdését, és látni fogjuk, hogy az általuk létrehozott nézőpontok nem merítik ki a természetet (erről lásd a IX. fejezet 5. szakaszát). Tegyük fel most a kérdést! Hogyan választható ki a két kanonikus változó, vagyis a rendszerre vonatkozó nézőpont, amely lehetővé teszi a folyamat optimális leírását?

A klasszikus dinamika típuspéldáiban könnyen kivitelezhető a dinamikai pozíció- és sebességváltozók megválasztása, s ez valóban igen egyszerűvé teszi a leírást. Összetettebb problémák esetén a választás azonban már nem mindig ilyen egyértelmű. A differenciálegyenletek lehető legkönnyebben integrálható rendszeréhez kell eljutnunk. Ami fontos, az a Hamilton-függvény struktúrája. Ez a függvény deriválással megadja  $p$  és  $q$  változását. Nos, el tudunk képzelni egy olyan különös struktúrát, amely az integrálást egészen könnyűvé teszi. Ehhez elegendő olyan kanonikus változókat találni, hogy a Hamilton-függvény a csak az impulzusoktól függő kinetikai energia formulájára legyen hozható, vagyis az, hogy a csak a helyzetkoordinátáktól függő helyzeti energia formulája eltüntethető legyen. Valóban, ebben az esetben azok az impulzusok, amelyek változását a Hamilton-függvénynek a helyzetkoordinátákra vonatkozó deriváltja írja le, már csak a mozgás *invariánsaiként* jelennek meg [ $\partial H(p)/\partial q \equiv 0$ ]. Ami a pozíciókat illeti, változási egyenletük integrálása már nem okozhat problémát: egyfajta pseudo-inerciális mozgással van dolgunk, amelyben a rendszer minden egyes pontja az összes többitől függetlenül változik (1. ábra).

Nos, ez a szinguláris leképezés, mely formálisan eltüntet a rendszer egységei között mindenfajta kölcsönhatást, *definiálja számunkra az integrálhatóság fogalmát*. Az integrálható differenciálegyenletek formájában leírt rendszerek mindegyike ábrázolható olyan egységek együtteseként, amelyek elszigetelten, az összes többitől függetlenül változik abban az örök és önmagával mindig azonos mozgásban,



1. ábra Kölcsönhatásban álló pontok együtteseként felfogott dinamikai rendszer leképezésének átmenete kitüntetett leképezésbe, melyben minden egyes pont a többitől függetlenül változik (a helyzeti energia formálisan eltűnt)

amellyel Arisztotelész csak az isteni testeket ruházta fel. Mint ahogy Maxwell megjegyezte,<sup>68</sup> Hegelt idézve, aki szintén a „régiektől” vette át az idézetet,<sup>69</sup> nemcsak a bolygók, hanem minden részecske is — akár a boldog istenek — oda megy, ahova akar, s mindegyikük saját kénye-kedve szerint alkalmazza a maga egyedi törvényét.

Ebben a definícióban az az érdekes, hogy már a differenciálegyenletek szintjén megjeleníti a dinamikai mozgásnak nemcsak az energiáját, hanem különböző invariánsainak halmazát is, azaz olyan fizikai mennyiségeket, amelyek értéke a változás folyamán mindig változatlan marad, és amelyek elegendőek a változás kimerítő meghatározásához. Abban, hogy minden integrálható dinamikai rendszer visszavezethető ilyen típusú definícióra, kézzelfogható módon megnyilvánul a dinamikai pályákat felhasználó leírás statikus és determinista jellege. Az, hogy „minden adott”, azt jelenti itt, hogy a mozgás különböző invariánsainak értéke már az első pillanattól kezdve adott, semmi nem „történhet” vagy „adódhat”, semmilyen kölcsönhatás nem zavarhatja meg a pseudo-inerciális mozgást; nemcsak a rendszer, hanem ezentúl a rendszert alkotó minden egyes elem szüntelenül megismétli, egymással egyenértékű formákban, azt a kiindulási állapotot, amelynek legkisebb részlete sem veszhet el.

Sokáig azt hittük, hogy az integrálható rendszereket a dinamikai rendszer modelljének tekinthetjük. A dinamika ugyanazt a módszert akarta alkalmazni minden problémára, mert megtalálhatónak vélte a változóknak azt a „jó” választását, amely kiküszöbölné a kölcsönhatásokat, és a dinamikai folyamat így explicit módon kifejezhető lenne ugyanazon elem ismétlődésével. Különös alapossággal tanul-

mányozták a híres háromtest-problémát, mely talán a fizikatörténet legfontosabb problémája. Ez a probléma már a Hold mozgásában is megjelenik, melyet egyformán befolyásol a Föld és a Nap. Számtalan kísérlet történt arra, hogy integrálható alakra hozzák, mindaddig, amíg a XIX. század végén Bruns és Poincaré be nem bizonyították ennek lehetetlenségét. Ez a tény meglepetést okozott, és — mint ahogy a későbbiekben megmutatjuk (IX. fejezet, 2. szakasz) — ez a meglepetés az egyszerű mozgások fizikáján alapuló extrapolációk végét, annak a hitnek a végét jelentette, hogy a dinamika világa egy-nemű világ.

Ebben az időben más, ugyannerre utaló jelek is feltűntek. Például egyes kutatók felfigyeltek arra, hogy egy mozgáspálya bizonyos szinguláris pontokban elveszítheti belső meghatározottságát. Egy merev inga minőségileg kétféleképpen viselkedhet: vagy leng, vagy forog felfüggesztési pontja körül. Ha a kiinduló impulzus pontosan ahhoz elegendő, hogy az inga nulla sebességgel függőleges helyzetbe kerüljön, az az irány, mely felé vissza fog lengeni — és így a mozgásának jellege is — meghatározatlan. Végtelen kis hatás elegendő ahhoz, hogy forgásba vagy lengésbe kezdjen. A mozgás instabilitásának eme problémájáról még sokat fogunk beszélni (IX. fejezet, 1. szakasz).

Érdeemes megjegyezni, hogy már Maxwell is hangsúlyozta a szinguláris pontok fontosságát: „Minden ilyesféle esetben [Maxwell előzőleg a lőgyapot felrobbanását írta le] fennáll egy közös körülmény: a rendszer olyan helyzetienergia-mennyiséggel rendelkezik, amely átalakulhat ugyan mozgássá, de a folyamat csak akkor kezdődhet el, ha a rendszer elért egy bizonyos elrendeződést, amihez viszont munka kifejtése szükségeltetik. Ez a munka végtelenül kicsi is lehet, s általában nem is mérhető ahhoz az energiához, amelynek felszabadulását elősegíti. Ilyen a fagy által fellazított kőszikla, mely a hegyoldal egyik pontján egyensúlyban áll, a parányi szikra, mely lángra lobbantja a rengeteget, az a jelentéktelen szó, mely háborúba taszítja a világot, az a csekély aggály, melytől az ember nem tudja megtenni azt, amit akar, az a kis spóra, mely tönkretesz az összes burgonyát, az a kis csíra, mely filozófussá vagy őrültté tesz bennünket. Bizonyos szinttől kezdve minden létezőben vannak ilyen szinguláris pontok: minél magasabb a szint, annál több. Egyes hatások, melyek fizikailag alatta maradnak annak a küszöbnek, hogy véges lény figyelembe vehetné őket, a lehető legjelentősebb változásokat eredményezhetik eze-

ken a pontokon. Minden ragyogó eredmény, mely emberi vállalkozásból születik, attól függ, hogyan sikerül hasznosítani ezeket a szinguláris pontokat, amikor előállnak.”<sup>70</sup> Ez az elképzelés nem talált visszhangra, mert nem voltak olyan matematikai eljárások, amelyek segítségével azonosíthatók volna ezek a szinguláris pontok, a kémia és a biológia pedig nélkülözötte azokat az ismereteket, amelyek ma számunkra lehetővé teszik — ahogy a későbbiekben megmutatjuk —, hogy pontosabban megértsük e pontok valóban lényegi jelentőségét.

Mindenesetre, Leibniz monászeitől egészen napjainkig (lásd a Bevezetés 4. szakaszát), ideértve például az elektron stacionárius állapotait Bohr modelljében (lásd a VIII. fejezetben), az integrálható rendszer ténylegesen a dinamikai rendszer egyetlen igazi modellje maradt, s azokat a tulajdonságokat, amelyek valójában csak a Hamilton-függvények egyik fölöttébb speciális esetére érvényesek, a fizikusok megpróbálták kiterjeszteni a természeti folyamatok összességére. Ez végül is érthető: amikor elgondoljuk a „dinamikai rendszert”, nyilvánvaló módon a dinamikai rendszerek eme osztályára gondolunk, hiszen egészen a legutóbbi évekig ezeket tárták fel a leg részletesebben. Figyelembe kell venni azt a bűvöletet is, amelyet óhatatlanul kivált egy olyan zárt rendszer, amelyben minden probléma felvethető, hacsak a rendszer keretein belül nem eleve értelmetlen. A dinamika nyelvezete nem ismeri a külvilág fogalmát, meghatározása szerint azonos kiterjedésű az általa leírt világgal. A dinamikában minden probléma — akár egyszerű, akár összetett — hasonló, mert mindig ugyanabban az általános alakban írhatjuk fel őket. Ebből adódik az a kísértés, hogy levonjuk a következtetést: a megoldás szempontjából is hasonló minden probléma, és bármilyen bonyolult is az integrálás művelete, újdonságot nem rejthet magában. Erről a feltételezett egyneműségről derült ki mára, hogy nem felel meg a valóságnak. A későbbiek során még kitérünk erre a problémára. Ám mi, akik már tudjuk, hogy minőségi különbségek vannak a dinamikai rendszerek között, annál inkább felmérhetjük az integrálható rendszer modellje keltette bűvölet kulturális és ismeretelméleti következményeinek jelentőségét. Leibniztől napjainkig nem tűnt el az a meggyőződés, hogy ha a Világegyetem dinamikai rendszer, akkor jellemzőek rá az integrálható dinamikai rendszerek tulajdonságai.

#### 4. A dinamika és Laplace démona

Az integrálható rendszer modellje alapján felfogott dinamikai leírás szempontjából jelképes értékű a Laplace által kitalált démon, mely képes arra, hogy adott pillanatban megfigyelje a Világegyetemet alkotó minden egyes tömeg helyzetét és sebességét, s ezekből kiszámítsa az egyetemes változás irányát, akár a múlt, akár a jövő felé tekintve.

Természetesen soha senki nem gondolta azt, hogy egy fizikusnak egy szép napon hasznára válhat majd a démon tudása. Laplace azért folyamodott ehhez az elmeszüleményhez, hogy rámutasson a gyakorlatot illető tudatlanságunk roppant voltára, és bizonyos folyamatok statisztikai leírásának szükségességére. Laplace démonának kérdése nem egyenlő azzal a kérdéssel, hogy ténylegesen lehetséges-e a dolgok változásának oksági elven alapuló előrejelzése, hanem az elvi lehetőség kérdését veti fel, és az előzetes tudás eme elvi lehetőségét a dinamikai törvény és a kezdeti feltételek leírása alkotta kettősség tartalmazza.

Valóban, az a tény, hogy egy dinamikai rendszert le lehet írni, mint amely alá van vetve egy oksági törvénynek, még ha a kiindulási állapotra vonatkozó gyakorlati tudatlanságunk kizárja is a determinisztikus *előrelátás* bármilyen válfaját, lehetővé teszi, hogy megkülönböztessük a rendszer „objektív igazságát” — ahogyan Laplace démona látja — és tudatlanságunk tényét. E feltételek közepette úgy látszott, nemcsak Laplace démonával, hanem a dinamikával szemben is megerősítésre szorul az a gondolat, mely szerint a rendszer adott pillanatban vett definíciója nem elegendő változásának meghatározásához, és ezért a fizikai determinizmus olyan korlátokba ütközik, melyek nem azonosak megfigyelői és számítási képességünk korlátaival. Bár a klasszikus dinamika keretein belül a determinisztikus leírás a gyakorlatban elérhetetlennek bizonyulhat, attól még nem kevésbé jelenik meg az egyre növekvő pontosságú leírások sorozatát megszabó *határként*.

Amint látni fogjuk, ma éppen a törvény-kezdeti feltételek kettősség kérdőjeleződik meg: már elvetettük azt a gondolatot, mely szerint egy rendszer kiindulási állapotának fogalma mindig érvényes, bármilyen dinamikai törvény vonatkozzék is a rendszerre, amiként azt is, mely szerint a kezdeti feltételek meghatározása minden dinamikai

rendszer esetében elméletileg elképzelhető művelet. A későbbiekben (IX. fejezet) azonban még visszatérünk erre a klasszikus dinamika épületén felfedezett repedésre, s a Laplace-i démon végre-valahára bekövetkezett halálára is. Ami pedig a klasszikus tudományt illeti, mihelyt elfogadta a dinamikai leírás igazságát, az egyetemes determinizmusra, az általunk lakott s bennünket, élő és beszélő lényeket létrehozó világot alkotó folyamatok látszólagos voltára *kellett* következtetnie.

Az újkori tudomány a természettel kötött animista szövetség felmondásából született: az arisztotelészi világban az ember — mint élőlény és mint megismerő lény is — megtalálta helyét, a világ rá volt méretezve, és a szellemi megismerés a dolgok lényegéig, változásuk ható-okáig és cél-okáig, a bennük rejlő és őket megszervező célíghatolt. Az első kísérletes párbeszéd viszont társadalmi és filozófiai igazolását részben egy másik szövetségből merítette, mely ezúttal a keresztények teremtő és racionális Istenével kötött. Abban a mértékben, ahogyan a dinamika a tudományok modelljévé vált, és az is maradt, e — mellesleg igen hamar megroppanó — „szövetség” bizonyos következményei tovább éltek, közülük is a legfontosabb, az, hogy félreismerték a kísérleten alapuló szövetséget, mely ténylegesen a természettel kötött.

A világvivá vált tudomány továbbra is profetikusan beszélt az isteni vagy démoni nézőpontból szemlélt és leírt világról. Newton tudománya ez, azé az új Mózesé, aki előtt feltárult a világ igazsága. *Kinyilatkoztatott*, végleges tudományról van szó, melynek nincs semmi köze ahhoz a társadalmi és történelmi közegehez, melyben egy emberi közösség tevékenységeként jelenik meg. Ebbe a profetikussá, ihletett beszédmódba mindvégig beleütközünk a fizika története során, együtt járt minden fogalmi újítással, valahányszor a fizika egységülni látszott, és a diadalérzet a fizikusokat arra készítette, hogy levessék magukról a pozitívizmus óvatos álcáját. Minden egyes alkalommal a korszak nyelvén újra elmondták ugyanazt, amit Ampère fia fogalmazott meg: ez a szó — vonzás, energia, mezőelmélet, szubatomi részecskék — a teremtés ígéje. Minden egyes alkalommal, amikor a fizikusok kijelentik, mint Laplace idejében vagy a XIX. század végén, hogy a fizika zárt terület — vagy közel áll ahhoz, hogy az legyen, mert máris megmondható, melyik az a végső pont, ahol a természet még ellenáll, és ha ez is meghódíthatik,

a teljes, védtelenül maradt természetet kiszolgáltatja a megismerésnek —, bár nem tudnak róla, az ősi hit fordulatait szajkózzák, s új Mózesre, a newtoni diadal megismétlődésére várnak.

Semmi jelentősége ennek az igazolhatatlan, profetikus igénynek, ennek a gyermekeg lelkesedésnek — mondhatnánk. Hiszen nem folytatódott-e közben a párbeszéd a természettel, a kutatás új elméleti nyelvezetek, új kérdések, új válaszlehetőségek után? De igen, ám az átfogó értelmezés hatással van az egyes kutatásokra. Az átfogó értelmezés a tudósok tényleges eredményeire támaszkodik, de, fordított hatásként, irányítja is azokat: egyes kutatási irányokat előnyben részesít, megszabja a viszonyokat a tudás különböző területei és a kérdésfeltevések előretolt állásai között. Meghatározza a stratégiát, mégpedig a következőképpen: bekeríteni a természetet, arra kényszeríteni, hogy felfedje a törvényt, melynek alá van vetve, elárulja a nyelvet, amelyen beszél.<sup>71</sup>

Bármilyen is a nyelv, melyen az eddigi fizika szerint a természet beszél, ez a nyelv mindig olyan természeti világot határozott meg, melyből az ember ki volt zárva. Ez persze könnyen megmagyarázható. A kísérletes párbeszéd kezdetben csak elemi szintű kérdéseket vethetett föl. Mintául vett tárgyait, melyekről a fizika matematikai leírást tudott adni, s melyekhez a kutatás igazodott — mint például a csillagok mozgása és az eszményi egyszerű gépek működése —, rendkívüli egyszerűség jellemzi, márpedig ezek a tárgyak szolgálnak a Laplace által hirdetett newtoni világ alapzataul. Minden egyes ember végtelen bonyolultságú fizikai-kémiai folyamatok és — ettől elválaszthatatlanul — a történelem, a faj, a többi állati és növényi társadalom közé vetett társadalmak és önnön fejlődése terméke. Bonyolultság és történelem — e két dimenzió egyformán hiányzik a laplace-i démon szemlélté világából. A klasszikus dinamika által feltételezett természet emlékezete kihagy, történelem nélküli, ugyanakkor múltjától teljes mértékben meghatározott természet. Közömbös természet ez, melynek számára minden állapot ugyanannyit ér, jellegzetesség nélküli, lapos és egyenmű természet, az egyetemes jelentéktelenség lidércnyomása. Ennek a fizikának az ideje egy örökévaló törvény fokozatos kibontakozásának ideje, ez a törvény időtlen, és a világ bármelyik állapotában tökéletesen megnyilvánul.

Az a rendszerezett forma, melyet a klasszikus fizika felöltött, törekvése arra, hogy zárt, összefüggő és teljes leírását adja a világnak,



nem vesz tudomást az emberről mint az általa leírt világ lakójáról, de — ahogy említettük — mint leírójáról sem.

Megint csak Einstein volt az, aki megfogalmazta a rejtélyt, amely az újkori tudomány mítoszát útja végén várta. Leírta és sokszor el is mondta: a csoda, az egyetlen valóban meglepő dolog az, hogy létezik tudomány, hogy olyan párhuzam mutatkozik a természet és az emberi szellem között, hogy egy szabadon felépített matematikai struktúra leképezheti magának a világnak a struktúráját. Ebben az elképedésben mintha egy másik, a maga idejében elhíresült kijelentés visszhangozna. Amikor a XIX. század végén a német fizikus, Du Bois-Reymond a laplace-i démont megtette az akkori tudományos logika megtestesítőjének, hozzátette: „*Ignorabimus*”. Soha nem fogjuk teljesen megismerni a viszonyt a tudományunk által átláthatóvá tett világ és a megismerő, érzékelő, a tudományt létrehozó szellem között.<sup>72</sup>

Laplace világa, akárcsak az a világ, amely után Einstein sóvárgott, egyszerű és áttetsző, árnyéktalan és kiterjedés nélküli világ, amely a tapasztalati tevékenységtől, a nézőpont és a meghatározó tulajdonságok megválasztásától teljesen függetlenként jelenik meg. Az embernek mint lakónak, mint a természeti változás résztvevőjének egyáltalán nincs benne helye. Úgy is eltűnt belőle mint tevékeny kísérletező, aki válogat, rendez, színre visz, beszélget, vitatja és bírálja eredményeit, teljesen feloldódva csupán egy pont maradt belőle: a kiszolgáltatott, rejtély nélküli világot szemlélő megismerő tudat. Ám ez a pont maga teljesen átlátszatlan maradt. Átjárhatatlan homályban rejtőzik, mely a teljesen megvilágított — mert kiemelkedés nélküli — világ logikai hozadéka, a világon kívül eső pont, a fény megismerhetetlen forrása.

A természet ezer hangon szól, és alig kezdtünk még el odafigyelni rá, de Laplace démona majd két évszázada kísérti képzeletünket, szüntelenül előbukkan, s vele együtt előbukkan a dolgok jelentéktelenségének lidércnyomása is, annak a lénynek a képzelt magánya, aki oly sokáig egy rászabott világ lakójának hitte magát. Ha a világ valóban olyan, hogy egy démon — vagyis egy mindennek ellenére hozzánk hasonlatos lény, aki ugyanazzal a tudással rendelkezik, de élesebben érzékel és jobban számol — egy pillanatnyi állapotot megfigyelve s ebből kiindulva ki tudná számolni a világ jövőjét és múltját, ha a természet igazságát valóban kimeríti a dinamika, és ha semmi nem különbözteti meg minőségileg az általunk leírható

egyszerű rendszereket azoktól, amelyeknek leírásához, bonyolultabbak lévén, egy démonra lenne szükség, akkor a világ nem más, mint egy hatalmas, örök és önkényes tautológia, mely összes részleteiben és teljességében egyformán szükségszerű és képtelen. Ez előtt a kihívás előtt áll az a tudomány, amelyet a XIX. század hagyott ránk örökül, s melyet ma meg kell szabadítanunk az ördögtől.

### III. A két kultúra

#### 1. Az élő anyag beszédmódja

Láttuk, hogy előbb az arisztotelészi, majd később a Galilei-féle modell uralta a nyugati gondolkodást. Melyiket válasszuk a kettő közül? A természeti folyamatok megértéséhez vajon a csillagok mozgását vagy a Földet benépesítő élőlényeket kell-e megfigyelnünk? Amint már mondtuk, az újkori tudomány fejlődésére jellemző, hogy felhagyott a vitalista sugalmazás és általában az arisztotelészi cél-okság tanával. De az élő szervezet kérdése kérdés maradt, és például Diderot, a newtoni diadallal egyidejűleg, rámutatott arra, hogy ezt a kérdést a fizika valójában szőnyeg alá söpörte: lidércnyomásként képzei el, mely álmukban gyötri a fizikusokat, akik képtelenek éber állapotban, azaz elméleteik keretén belül elgondolni ezt a kérdést. D'Alembert így álmodik: „Egy élő pont... Azaz helyesebben: először semmi, majd egy élő pont... Ehhez az élő ponthoz egy másik, majd egy harmadik kapcsolódik, és így kapcsolatról kapcsolatra új egység, új lény alakul ki, hiszen nem vitás, hogy én is egy és egész vagyok. (Közben végigtapogatta önmagát.) De hogyan jött létre ez az egység... Tisztelt filozófusom, a pontok halmazát, azt már látom: látom apró, érző lények szövedékét, de állatot!... egységes állatot!?... Összefüggő rendszer, énnel, egységének tudatával! Hát ezt már nem látom, nem én!”<sup>73</sup>

A d'Alembert-rel folytatott elképzelt párbeszédben Diderot saját maga is megjelenik, s kinyilvánítja a mechanisztikus magyarázat elégtelenségét: „Nézze ezt a tojást. Ezzel lehet romba dönteni az összes teológiai iskolákat és a földkerekség minden templomát. Mi ez a tojás? Míg a csírárt föl nem veszi, érzéketlen tömeg csupán. S mi történik vele, ha felvette a csírárt? Akkor is érzéketlen tömeg marad,

mert a csíra sem egyéb tehetetlen és nyers folyadéknál. Mitől fog megváltozni szervezete, mi teszi, hogy érez és él? A hő. Mi fejleszt hőt? A mozgás. Mit eredményez a mozgás lassan, fokozatosan? Ne fáradjon a válaszáddal, hanem üljön le, és vegyük egymás után szemügyre ezeket a hatásokat. Kezdetben csupán egy lüktető pontocskát látunk, majd finom kis hálót, amely szétterül és megszíneződik; hús formálódik, csőr, kicsi szárny, szem és lábak tűnnek elő; sárgás massa tekeredik fonallá, és kialakítja a beleket: állat keletkezett. Ez az állat megmozdul, moccan, hangot ad; csipogását hallom a tojás-héjon keresztül; hely nő rajta; lát. Kis fejét újra meg újra megbillenti a súlya, csőre neki-nekiütődik börtöne belső falának, ami megreped; a csibe kilép belőle, járkal, fut, berzenkedik, elmenekül, visszajön, sír, szenved, szeret, vágyakozik, örül. Kedélyállapota éppúgy változik, mint az emberé; mindent megtesz, amit az emberek. Kérem, ne mondja Descartes-tal, hogy az ilyen lény csupán utánozó-gép! Még a gyerekek is kinevetnék, a filozófusok pedig azt válaszolnák, hogy ha az ilyen lény gépezet, akkor ön sem egyéb. Ha a józan ész és jóhiszeműség szavára hallgat, azt mondhatja, hogy az állat az embertől csupán szervezeten különbözik. Ebből azonban az a következtetés vonható le önnel szemben, hogy a tehetetlen anyag akkor is érezni, élni, emlékezni fog, akkor is lesz öntudata, lesznek szenvedélyei és gondolatai, ha alkalmas elrendezésre talál, s egy másik tehetetlen anyag, továbbá hő és mozgás behatása alá kerül. Választania kell tehát két álláspont között: vagy elfogadja, hogy a tojás tehetetlen tömegében olyan alkotóelem rejtőzik, amely a fejlődés alkalmas pillanatában nyíltan is megjelenik, vagy azt tételezi fel, hogy ez a láthatatlan elem a fejlődés pontosan megadott pillanatában jutott be a tojás héján át a belsejébe. De akkor mi ez az elem? Volt-e kiterjedése vagy nem? Hogyan jutott a helyére, honnét illant el, ha nem mozog? Hol volt azelőtt? és ott, vagy másutt mit csinált? Abban a pillanatban jött-e létre, mikor szükség volt rá a megtermékenyítésnél? Vagy már azelőtt is létezett, és éppen szállásra várt? Ha homogénnek képzeljük, akkor csak anyagi lehet; ha heterogénnek, miért volt tehetetlen a fejlődés előtt, és miért csak a kifejlődött állatban mutatta meg energiáit? Ha ezt így végiggondolja, szégyenkezni kell önmaga előtt, mert be fogja látni, hogy megtagadta a józan eszt, és a misztikum, az ellentmondások és képtelenségek mocsarába tévedt, mert nem akarta elfogadni azt az egyszerű feltevést, amely

mindent megmagyaráz, nem akarta elfogadni az érzőképességet mint az anyag általános tulajdonságát vagy szervezetének termékét.”<sup>74</sup>

A racionális mechanika temploma és mindazok ellen, akik szerint az anyagi természet csupán tehetetlen tömeg és mozgás, Diderot a fizikai gondolkodás kétségtelenül egyik legrégebbi forrására, az embrió látszólag önkéntelen, fokozatos fejlődésére, tagolódásra és szerveződésére hivatkozik. Kialakul a hús, a csőr, a szem, a belek; igen, valóban egy tisztán biológiai tér fokozatos megszerveződésével van dolgunk, a láthatóan érzéketlen anyag alkotta egynemű közegből pontosan a megfelelő pillanatban és helyen, összerendezett és harmonikus folyamat során, különböző formák alakulnak ki.

Miképpen fogadhatnánk el, hogy a tehetetlen anyagból — akár a gravitációs kölcsönhatás erői által mozgatott newtoni anyagból — meg lehet magyarázni e szervezett és tevékeny helyi struktúrák megjelenését? Igaz ugyan, hogy a newtoni mozgástörvények körkörös és elliptikus pályákat írnak le, amelyek lehatárolt terekben helyi formákat határoznak meg, de ugyanúgy leírják a végtelenbe vesző parabolát és hiperbolát is. A kört és a hiperbolát *ugyanaz* az erő határozza meg, csak a pálya kezdeti feltételei, a helyzet és a sebesség változik. A newtoni rendszer *világrendszer*. A Világegyetemben található testek összessége kölcsönhatásban áll egymással, és a valamelyik altérre korlátozott mozgások nem részesülnek semmiféle előnyben a térbeli korlátok nélküli pályákhoz képest. A newtoni rendszer nem értelmezi a tér különbségeit, a természetes határok kialakulását, a szervezett működés megjelenését, vagyis egyetlen olyan folyamatot sem, amely szükséges az élőlény kialakulásához.

Diderot azonban nem veszíti el a reményt. A tudomány még csak most kezdődik — írja —, a racionális mechanika csupán az első, még túl elvont kísérlet volt, és a tojás látványa elég ahhoz, hogy megrendítse igényeit. Már a gyerekek is kinevetik, a filozófusok pedig érveket kovácsolnak. Ezért hasonlítja a nagy matematikusok — mint Euler, Bernoulli, d'Alembert — műveit az egyiptomi piramisokhoz, amelyek építőik tehetségének hatalmas és szörnyűsége, de ma már magányos, elhagyott emlékművei csupán. Az igazi, élő és termékeny tudomány másutt fog megszületni.<sup>75</sup>

Egyébként úgy véli, hogy ez az új tudomány, az élő és szervezett természet tudománya már meg is született. D'Holbach a kémiát tanulmányozza, Diderot az orvostudományt. Mindkét esetben arról van

szó, hogy a tehetetlen anyaggal, a mechanika általános törvényeivel szembeállítsák a tevékeny, szerveződésre, élőlények létrehozására képes anyagot. Diderot hangsúlyozza, hogy az anyag nem érzéketlen, még a kőnek is vannak rejtett érzékletei abban az értelemben, hogy az őt alkotó molekulák bizonyos társulásokra tevékenyen törekszenek, másokat elkerülnek, vágyaik és ellenszenveik szerint mozognak. Az egész szervezet érzékenysége nem más, mint részei érzékenységének összege, úgy, ahogyan a minden elemében összerendezett viselkedést mutató méhrajt fokról fokra létrehozza a méhek közti tényleges kölcsönhatás, s amiként a méhkasnak nincs lelke, ugyanúgy nincs az embernek sem.<sup>76</sup>

Diderot-nak a fizika és a mozgás általános törvényei elleni vitalista veretű tiltakozása mögött a spiritualista dualizmus minden válfajának elutasítása áll. Az anyagi természetet oly módon kell leírni, hogy ellentmondásmentes magyarázatot adjon az ember alapvetően természeti létére. Ennek hiányában, s ez történik a racionális mechanika esetében, a természet-automata tudományos leírása maga után vonja a *lélekkel bíró automata* gondolatát, mely, mint ilyen, idegen a természettől.

Annak a materialista naturalizmusnak, amelyet Diderot szembeállít a korabeli fizikával, kettős — kémiai és orvostani — indíttatása nagyon is jellemző a XVIII. századra. Miközben a biológusok az állat-gépen, a csírák elsőbbségén és az élőlények nagy láncán törnek a fejüket, mely kérdéseket mélyen áthatja a teológia,<sup>77</sup> néha a kémikusok és az orvosok — az esetek többségében orvos-kémikusok — azok, akik közvetlenül ütköznek bele a valós folyamatok bonyolult voltába, a sokféleségbe, az anyag és az élet formáinak egyedi voltába.

A XVIII. század végén a kémia és az orvostudomány módszertani szempontból is kivételes helyet foglal el azok szemében, akik a fizikusok „rendszer kívánó szelleme” ellen küzdenek egy olyan tudományért, mely tiszteletben tartja a természeti folyamatok sokféleségét. A fizikus lehet tiszta szellem; lehet tapasztalatlan, de lángeszű gyermek; az orvos, a vegyész viszont nem mondhat le a tapasztalatról és a gyakorlati tudásról, meg kell fejtenie a jeleket, fel kell ismernie a jelzéseket. Ebben az értelemben a kémia és az orvostudomány *művészet*, szüksége van a „meglátásra”, a kitartásra, a konok megfigyelésre.<sup>78</sup> A kémia a bolondok szenvedélye, mondja Venel a Diderot-féle *Enciklopédiába* számára írott cikkében, melyben ékes-

szólóan védelmezi a kémiát Newton követőinek elvont hódításvágya ellenében.<sup>79</sup>

A kémikusok és az orvosok, a betegségekkel, a fertőzésekkel, a leromlással szembesülő gyakorlati szakemberek tiltakozása a fizikai általánosítással, a szenvtelen mechanizmusokkal és az általános törvények nyugalomával szemben, melyekre a fizikusok az élő szervezetet szerették volna visszavezetni, már Diderot korában is régóta ismert volt. Ezzel kapcsolatban fel kell idéznünk Stahl kimagasló alakját, aki a vitalizmus atyja és az első összefüggő és termékeny kémiai rendszer megalkotója volt.

Stahl szerint az általános törvények az élő anyagra is alkalmazhatók, de csak abban az értelemben, hogy pusztulását és rothadását okozzák. Az élőlényt alkotó anyagok olyannyira törekenyek és oly könnyen szétbomlanak, hogy ha az élőre csupán az anyag általános törvényei vonatkoznának, egyetlen pillanatig sem lenne képes ellenállni a leromlásnak és a bomlásnak. Ha az élő anyag ennek ellenére élő marad — bármilyen rövid is élettartama a kőéhez vagy más élettelen testéhez képest —, kell benne lennie egy „fennmaradási elvnek”, mely alkotja és fenntartja a test szöveteinek és struktúrájának zavartalan társas egyensúlyát. Az élő test meglepően hosszú élettartama — noha az az anyag, amelyből összetevődik, rendkívül romlékony — csak egy „természetes, állandó, immanens elv”, egy, az élettelen anyag törvényei alól kivont különös ok hatásával magyarázható, mely szüntelen harcban áll az e törvényekből eredő, folyamatosan ható romlás erőivel.<sup>80</sup>

Az élet kérdésének ilyenét elemzése egyszerre áll hozzánk közel és távol; közel az élet tűnékenységének, a bomlás és szétszóródás törvényeihez viszonyított egyedülvalóságának éles érzékelése révén; távol, mert az élő — Arisztotelészhez hasonlóan — Stahl is mindekelőtt statikus fogalmakban, a fennmaradás, nem pedig a változás fogalmaiban ragadja meg. Valóban, ami az élő anyag kérdését illeti, az állandóságnak biztosított kivételes helyzet fellelhető abban a kitüntetett figyelemben, amellyel napjaink egyes biológusai a genetikus információt kezelik. S teljesen természetes, hogy a Stahl által alkalmazott terminusok újra feltűnnek e biológusok írásaiban: az enzimek „harcolnak” a romlás ellen, lehetővé teszik, hogy a test később jusson arra a sorsra, amelyre a fizika kárhोजtatja. A szervező-dés kihívja maga ellen a természeti törvényeket, s az egyetlen

„normális” változás az, amely a halálba vezet (lásd a VI. fejezet 4. szakaszát).

Stahl vitalizmusa mindaddig megőrizte érvényességét, amíg a fizika törvényeit azonosították a bomlás és a szervezetlenség irányába mutató folyamatokkal: a „vitalista elv” helyébe később ugyan a mutációk előre nem látható sorozata lépett, melyet a genetikai szöveg megőriz, de az élő anyag változatlanul a természet határvidékén maradt. A disszipatív struktúrákban megvalósuló „új anyagállapotok” felfedezésére volt szükség ahhoz, hogy a működő struktúrák fennmaradása és fejlődése végre levezethető legyen a fizika törvényeiből, s hogy a szerveződés *természeti* folyamatként jelenjen meg (lásd az V. és VI. fejezetet).

Ám jóval azelőtt, hogy Stahl kérdésére ez az elméleti válasz megszületett, az élő anyag beszédmódja már átalakult, s a mechanisztikus gondolkodás elleni újabb fellépés, a romantikus gondolkodás felbolygatta azt a szellemi erőteret, amelyben ez a beszédmód meggyökeresedett.

Stahl bírálta az automata hasonlatát, mondván, hogy — az élő anyaggal ellentétben — az automata célja kívül esik önmagán, szervezettségét építőjétől nyeri. Meglátása szerint az élő anyag sajátja az, hogy bensőleg mechanisztikus, okát és célját önmagában hordja. Diderot, akitől távol állt, hogy az élő anyag tanulmányozását a tudomány hatókörén kívülre utalja, ebben a vizsgálódásban látta a racionális és kísérleti tudományok jövőjét, melyek fejlődése szerinte éppen csak megkezdődött. Néhány évvel később e két szempont megkérdőjeleződik.<sup>81</sup> Az „automata”, különösen Németországban, becsmérlő kifejezéssé vált: a mechanikus működés a mesterségeség és a pusztulás jelentését felöltve már nem veti fel a szervező célszerűség belső vagy külső természetének kérdéskörét; szembeállítják vele — milyen ismerős számunkra ez a csoportosítás — az élet, a szabad elhatározás, az emberi szabadság, a szellem fogalmát. Erre a szembeállításra rádupláz az ellentét a számító, beavatkozó értelem és a szellem szabad, elméletalkotó ereje között, mely utóbbi azonnal, az objektív tudomány fárasztó erőfeszítése nélkül is képes megérteni a természetet alkotó szellemi tevékenységet.

Röviden azt mondhatnánk, hogy a természet filozófiai megismerésének — a gondolkodás tereinek eme új meghatározása értelmében — közelebb kell állnia a művészi ihlethez, a formákat létrehozó ter-



mészettel közvetlen kapcsolatba kerülő alkotói tevékenységhez, mint a tudományos munkához. A tudós csak úgy kezelheti a természetet, mint befolyásolható és megmérhető különös tárgyak együttesét. Ily módon egy alávetett és ellenőrzött természetet vesz birtokába, melyet valójában nem is ismer. Az igaz ismeret tehát lényegénél fogva olyan, hogy nem szerezhető meg a tudomány módszereivel.

Nem filozófiatörténetet akarunk itt írni, csupán fel szeretnénk hívni a figyelmet arra, hogy a tudomány filozófiai bírálata mennyire megkeményedett: a célpont immáron nem az a kissé együgyű és vak igény, melyet elég hangosan elismételni ahhoz, hogy még a gyerekek is kacagásban törjenek ki, kimondójuk pedig maga is nevetség tárgya legyen, hanem az a megismerési mód, amelyből a természetről való tapasztalati és matematikai tudásunk származik. A harcban bevetett érvek emlékeztetnek azokra, amelyeket e könyv I. fejezetében vázoltunk föl. E megismerési módnak nem a határait kifogásolják, hanem a természetét, s felmerül egy, az előbbivel *versengő* és más eljárásokon nyugvó megismerési mód igénye. A kultúra tehát visszavonhatatlanul két ellentétes álláspont körül kristályosodik ki.

Az átmenetet Diderot és a romantikusok, pontosabban a tudományhoz fűződő kritikai viszony általunk felvázolt két módja között filozófiai szempontból megvilágíthatja az az átalakulás, amelyen a tudomány problémájának Kanttól eredő megfogalmazása átesett. A mi szempontunkból az a lényeg, hogy a kanti kritika a tudomány tárgyát általában a newtoni tárggyal azonosította. Így kimondta, hogy a mechanisztikus szellemmel való szembehelyezkedés egyúttal a tudománnyal való szembehelyezkedés is, vagyis a megértés munkájának leértékelése egy gyökeresen más fajtájú megismerési mód javára.

## 2. A kritikai ratifikáció

A kanti filozófia egyik lényeges törekvése az volt, hogy rendbe tegye azt az értelmi mezőt, amelyen a természettudományok igazságáért kezeskedő, racionális teremtő Isten eltűnése teljes káoszt okozott. Kant sokak számára mind a mai napig érvényes módon megoldotta a tudományos igazság problémáját, annak az átfogó igazságnak a problémáját, amelyhez a tudósok, úgymond, hozzáférhetnek, holott ma már senki sem állíthatja komolyan — hacsak nem metaforikus

értelemben —, hogy a tudomány felfedi a teremtés rejtélyét. Isten ezentúl hallgat, vagy legalábbis nem az emberi értelem által felfogható nyelven beszél.<sup>82</sup>

De a káosz nem csupán ismeretelméleti jellegű volt: egy olyan természetben, amelyből kiszorult az idő, mi lesz a szubjektív tapasztalattal és az általa feltételezett változásokkal, mi lesz a szabadsággal, az egyén saját egyedi sorsával?

Kant megoldása bizonyos értelemben az egyetlen lehetséges megoldás volt olyasvalaki számára, aki kiáll az erkölcs lehetősége mellett, miközben elfogadja a dinamikai leírás hiánytalan és valóság-hű voltát. Ahelyett, hogy a leírás középpontjában a világrend forrása-ként és megismerhetőségének biztosításaként Isten állna, a középpontot az emberi szubjektumnak kellett elfoglalnia, s így egyszerre kellett megtenni őt a természeti jelenségek teremtőjének és biztosítékának. A jelenségvilág mögé így egy másik, immáron nem a szubjektum által létrehozott szellemi valóság kerülhetett, melyből az ember esztétikai, erkölcsi és vallási élete táplálkozik.

A kanti megoldás tehát a tudományos megismerést és a tudomány által leírt világban élő ember idegenségét egyaránt igazolja. Kant voltaképpen filozófiailag létrehozta az újkori tudomány mitikus beszédmódját. Ebben az értelemben tudomásul vette azt az egységesítő formát, amellyel a XVIII. század folyamán a fizika felruházta önmagát, és az utóbbinak megszabta érvényességi területét, meghatározta alapjait és kijelölte elfogadhatóságának határait.

Kant értelmezése szerint a kritikai filozófia kérdése *transzcendentális* jellegű: nem a tapasztalati tárgyakra utal, hanem abból az *a priori* tényből indul ki, hogy lehetséges e tárgyak rendszerszerű megismerése — ezt a fizikai tapasztalat bizonyítja —, s megfogalmazza az erre a megismerési módra vonatkozó *a priori* feltételeket.

Ehhez különbséget kell tenni az általunk felfogott egyszerű érzékletek és az objektív, az értelmi megismerés között; az objektív megismerés nem tétlen, hanem maga alkotja meg tárgyait. Amikor egy jelenséget tapasztalatunk tárgyaként kiválasztunk, *a priori* azt feltételezzük róla, hogy mindennemű tényleges tapasztalatot megelőzően már törvényszerű viselkedést követ, engedelmeskedik bizonyosfajta elvek együttesének. Valóban, mondja Kant, ezt a feltételezést megtehetjük, az általunk érzékelt tárgy választ fog adni kérdésünkre, hiszen már egyszer s mindenkorra alá van vetve a törvények rend-

jének, lévén *a priori* szintetikus szellemi tevékenységünknek a megismerés lehetséges tárgyaként felfogott terméke. Eleve ott találjuk magunkat megismerő tevékenységünk tárgyaiban, s azon egyetemes törvényeknek, melyeket a tudós a természetben felfedez, saját maga a forrása.

*A tárgy megtapasztalásának lehetőségére vonatkozó feltételek egyáltalán létezése lehetőségének is feltételei.* Ebben a híres mondatban benne rejlik a transzcendentális kérdésfeltevés által végrehajtott „kopernikuszi forradalom” lényege: a szubjektum már nem „kering” tárgya körül, megkísérelve, hogy rábukkanjon a törvényre, melynek az engedelmeskedik, meg a nyelvezetre, mellyel titka megfejthető; ő maga kerül a középpontba, ő szabja a törvényt, s az általa érzékelt világ az ő nyelvét beszéli. Miért lenne akkor meglepő, hogy a newtoni tudomány a világot egy külső, szinte már isteni nézőpontból tudta leírni!

Természetesen az, hogy minden jelenség, amelyet az értelem mint kérdésfeltevése tárgyát fog fel, s amely éppen ezáltal *a priori* alá van vetve az értelem által benne felfedezendő fogalmaknak, nem jelenti azt, hogy a tárgyak tényleges megismerése hiábavaló. Kant szerint a tudomány nem párbeszédet folytat a természettel, hanem rákényszeríti saját nyelvezetét, mégis minden egyes esetben rá kell bukkannia arra a különös mondanivalóra, amelyet a dolgok ezen az általános nyelven mondanak. Az *a priori* fogalmak ismerete önmagában üres, tartalom nélküli tudás. A tudomány munkálkodása szükséges ahhoz, hogy a világ egészét valóban beilleszthessük a megismerés kategóriáiba.

A laplace-i démon, a tudomány mítoszának ez a jelképe ebben az elméleti keretben látszat csupán, de *racionalis* látszat. Nyilvánvalóan egy határ átlépésének kevéssé igazolható eredménye, de ugyanakkor annak a jogos meggyőződésnek a kifejeződése is, amely a tudományt vezérli s mozgatóerejét alkotja, hiszen a maga teljességében vett természet jogszerűen vettetik alá a törvényszerűségnek, melynek a tényekben a tudósok lassacskán nyomára akadnak. A tudomány, forduljon bárhová, kérdezzen rá bármire, nem ugyanazt a választ fogja kapni, de ugyanazt a formájú választ. Az összes lehetséges válasz ugyanazon egyetemes szintaxis szabályai szerint épül fel. Nem más ez, mint filozófiai igazolása annak a hasonlóságnak, amely egy zárt formastruktúra rendezettsége — mint amilyen a dina-

mika nyelvezete — és az egynemű világ teljes leírásának kísérlete között fedezhető fel.

A transzcendentális filozófia ilyképpen lehetővé tette, hogy a newtoni tudomány kifejezhesse a természet feltárására irányuló emberi tevékenység igazságát, valamint kodifikációját is, s igazolta a fizikusok azon bejelentését, mely szerint kidolgozták a világ bármiféle tényleges megismerésének végső és végleges formáját. De ezzel egyidejűleg uralkodó helyzetbe került a tudománnyal szemben, többé már nem kellett keresnie a tudományos tevékenység eredményeinek filozófiai jelentését. Transzcendentális nézőpontból ezek az eredmények nem is hozhatnak semmi újat. A tudományban — és nem eredményeiben — a filozófia csupán elmélkedési területet lát. A rendszerré merevedett tudomány, mely meghatározásából eredően képtelen filozófiailag érvényes fogalmak kidolgozására, a transzcendentális gondolkodás szilárd alapjává vált.

Kant kritikai filozófiája — pontosan abban a mértékben, amilyen mértékben igazolta a tudomány törekvéseinek mindegyikét — a tényleges tudományos tevékenységet bizony tünékenynek és könnyűnek minősíthető kérdések megválaszolására korlátozta, arra a munkálkodásra kárhóztatta, hogy vég nélkül elemezgesse a jelenségek egyhangú beszédét, és magának tartotta fenn az emberi „sorsra” vonatkozó kérdések mezejét, annak kérdését, hogy mit ismerhet meg az ember, mit kell tennie, és mit remélhet. A tudomány által vizsgált, a tényleges megismerés számára hozzáférhető világ a jelenségek világára „szűkült” le. A tudós nem ismerheti meg a dolgokat önnön valóságukban, és még kérdései sem alkalmasak az emberiség valódi problémáinak megközelítésére. Sem a szépség, sem a szabadság, sem az etika nem tárgyai a tényszerű megismerésnek, vagyis a tudománynak: ezek a noumenális világ részei, vagyis — tökéletesen elkülönülve a fenomenális világtól — a filozófia illetékességi területe.

Kant kiindulópontja — az az állítás, mely szerint az ember tevékeny szerepet játszik a tudományos leírásban — természetesen számunkra is elfogadható. Már éppen eleget beszéltünk a kísérletező tevékenységről úgy, mint a kiválasztás és a megrendezés művészetéről ahhoz, hogy ne kelljen visszatérnünk arra a gondolatra, mely szerint minden tudományos leírásban és minden kísérletben előfeltételezettek bizonyos elvek. Ezek az elvek teszik lehetővé a kísérleteket, amelyekre — ebből következően — nem lehet építkezni. Kant ennek

ellenére — ahogy láttuk — sokkal tovább megy. Tagadja a természet megismerésében a tudományos nézőpontok sokféleségét, s ezzel a másra visszavezethetetlen és tényszerű választás szükségességét: azt, hogy kiválasszunk egy problematikus helyzetet, amelyben pontos kérdések tehetők fel, s amelyben tapasztalati válaszok kereshetők. Összhangban az újkori tudomány mítoszával, azt az *egyedüli* nyelvet keresi, amelyet a tudomány a természetben kutat, azon előfeltételek egyetlen halmazát, amelyek a fizika kereteit megszabva a megértés kategóriáival azonosulnak.

A kanti filozófia és a későbbiekben — egészen napjainkig — nagyszámú filozófus által elfogadott kritikai álláspont elvi szinten egy ténybeli helyzetet rögzít: nem lehetséges párbeszéd egy olyan tudománnyal, melynek beszédmódja mitikus jellegű. Meghatározása szerint a tudomány néma, rendszeres, önmagába zárt vállalkozás. A filozófia viszont rögzíti és megszilárdítja ezt a szakadást. Meghagyja a tudománynak a ténybeli tudás mezejét, ám csak azért, hogy kiterjessze fennhatóságát az emberi létről, az ember szabadságát jelentő nyitottságról, vagyis mindarról való gondolkodásra, ami az emberben a tényleges, „természetes” meghatározottságok meghaladására hivatott.

Az antik természet a bölcsesség forrása volt, a középkori természet Istenről szólt, az újkori természet viszont olyannyira szótlan, néma, hogy Kant úgy gondolta, teljesen külön kell választania egymástól a tudományt és a bölcsességet, a tudományt és az igazságot. Ebben az elkülönültségben élünk csaknem két évszázada. Szeretnénk, ha ez véget érne, és — tudományos szempontból — úgy látszik, ehhez ma már adottak a feltételek.

Ebből a szempontból az egyik döntő kérdés a következő: lehetséges-e újra olyan természetfilozófia, mely lehetővé teszi, hogy összefüggő módon gondoljuk el az ember természetbe ágyazottságát, valamint a tudomány által a természetre nyitott távlatokat?

### 3. Új természetfilozófia?

Azt állítottuk, hogy a Kant utáni természetfilozófia első próbálkozásai mind lándzsát törtek a tudománytól független — vagy akár vele nyíltan szemben álló —, rendszerezett gondolkodás lehetősége, a

kísérletes párbeszédnek a megértés határaival azonosított kény-szereitől megszabadult okoskodás lehetősége mellett. Elkerülve, hogy bármiféle értékítéletet mondjunk e természetfilozófiákról, mégis megkockáztatjuk azt a kijelentést, hogy a kultúra válságos helyzetbe került. A tudósok többsége a természetfilozófiában pusztán a tényeket lekezelő, öntelt és nevetséges okoskodást látott, melyet a tények csak még nevetségesebb helyzetbe hoznak. Egyes filozófusok pedig a természettel való foglalkozásban és a tudománnyal való vetélkedésben rejlő veszély fájó jelképét látták benne. Megerősödött tehát az általános bezárkózás hajlandósága, mely a filozófiát megfosztja a szemlélődés egyik hagyományos forrásától, a tudományt pedig a saját gyakorlatán való töprengés eszközeitől. A XIX. században a tudósok bezárkóztak az újjászervezett Akadémia védett kutatóhelyeire, hogy a „szellemi önsanyargatás” légkörében a kutatásnak szenteljék magukat, mely véleményük szerint öntörvényű, és semmi köze az őket körülvevő társadalom gondjaihoz.<sup>83</sup>

Így válik a kémia és az élő test tudománya, a fiziológia — ez a két tudományág az, amely Diderot szerint a racionális természetkutatás megújulásának reményét hordozza — példaszerű akadémiai tudományszakká, s fajul — nyilvánvalóan a természetfilozófiák ellen irányuló tudatos és átgondolt válaszként — kísérleteken nyugvó, minden szellemi erőfeszítéssel szemben ellenséges gyakorlattá. Különösen Giessenben, ahol Liebig létrehozta az első korszerű egyetemi laboratóriumot,<sup>84</sup> s ahol felnőtt azoknak a kémikusoknak az első nemzedéke, akik már mentesek az elmélkedés keltette nyugtalan-ságtól, s lelkesen vetik bele magukat minden lehetséges tárgy kémiai összetételének rendszeres elemzésébe.

Mégis, miképpen kerülhető el, hogy az anyag és az élő test tevékenységének tanulmányozása során ne foglaljunk állást a vizsgálatok eredményei és az ember természetéből meg a világban elfoglalt helyéből adódó filozófiai rejtvények kapcsolatának kérdésében? A válasz egyszerű: a kérdéseket el kell választani egymástól, mégpedig úgy, ahogyan Kant tette. A XIX. század „komolyan vehető” kémikusa vagy fiziológusa számára az egyetlen elfogadható filozófiai álláspont egyfajta burkolt vagy bevallott kantianizmus, amely igazolja bezárkózásukat az adott fogalmi kereten belül folytatott rendszeres kutatásokba.

Az efféle „kantianusnak” volt valóságos megtestesülése Helmholtz, a kémikus, orvos, fizikus és fiziológus, a német egyetemi élet kimagasló alakja abban az időben, amikor az az európai tudomány mintaképévé és középpontjává kezdett válni. Ő jelenthette ki, hogy minden „természeti jelenséget változatlan, csupán a térbeli elhelyezkedéstől függő mozgatóerővel rendelkező anyagi részecskék mozgására kell visszavezetni”.<sup>85</sup> A természet csak mechanikai fogalmakkal érthető meg. A kiváló német fiziológiai iskola alakjainak többsége (Liebig, Ludwig, Müller, Du Bois-Reymond, Virchow) lényegileg azonos álláspontot foglal el Helmholtzcal: az élő anyag fizikai-kémiai működését ugyanazok a törvények irányítják, mint az életelen anyagét, s egyazon fogalmi keretben tanulmányozandó. Nem zárják ki ugyan valamilyen „életerő” létezését, amely az élő anyag fejlődését és sajátosságait magyarázná, de mivel ez az erő nem oksági kapcsolatok formájában lép fel, s nem része a tudomány által tanulmányozott fizikai-kémiai erők egyensúlyának, nem alkotja, s számukra nem is alkothatja tárgyát a tudománynak.<sup>86</sup> A fiziológia objektív tudományként az élő anyagnak mint olyannak, mint adott-nak a működését tanulmányozza, de nem tesz föl kérdéseket lényegére vagy eredetére vonatkozóan. A vitalizmus a XIX. század tudósai körében tehát széleskörűen elfogadott, mégis szubjektív meggyőződésként jelenik meg, amely szinte kizárólag redukcionista objektív tudomány tevékenységével párosul.

A redukcionizmus és antiredukcionizmus XIX. században kipattant viszálya még ma is megosztja a tudományos közvéleményt, melynek ez az egyik fő kérdése. Erről a viszálykodásról mind a mai napig az a törésvonal árulkodik, amelyet a filozófiai gondolkodással való szakítás eredményezett. Veszedelmes terület ez, vagy legalábbis egy ezek közül, ahol egy-egy filozófus időnként feljogosítva érzi magát arra, hogy beszámoltassa a tudósokat, s ahová tévedve egy-egy tudós olykor megbotlik, és átáll a „másik” oldalra, a filozófusok táborába, amire nevezetes példa Driesch esete.

Valóban másik tábor ez, hiszen mióta vége szakadt a XVIII. század viszonylagos egyetértésének, a változás és a bonyolultság kérdésköre gyökeresen eltérően vetődik fel. A részletek említése nélkül, a tudományos redukcionizmus ellenében szeretnénk megemlíteni a kutatásra irányuló filozófiai szemlélődés egyik kimagasló példáját, mely új összhangot teremtett: a hegeli filozófia a növekvő bonyolultság és

összetettség szintjei szerint rendeződő természetet behelyezi a szellem világfejlődésének vonalába. A természet uralma az önmaga tudatára ébredő szellemben — az emberben ér véget.

Röviden azt mondhatjuk, hogy a hegeli természetfilozófia rendszert teremt mindabból, amit a newtoni tudomány elutasított, különösen ami a mechanika által leírt egyszerű mozgásformák és az összetettebb létezők viselkedésének minőségi különbségét illeti. A redukció gondolatával, azzal az elképzeléssel, hogy a különbségek csupán látszólagosak, a természet pedig alapvetően egynemű és egyszerű, szembeállítja a hierarchia gondolatát. E hierarchián belül minden egyes szintnek az előző szint adja meg a feltételeit, az, amelyen túllép, és amelynek tagadja határait, hogy aztán maga is meghatározza a következő szintet, amelyben a természetben működő szellem egyértelműbben, kevesebb korláttal nyilvánul meg.

A gravitációs kölcsönhatásoktól az emberi szenvedélyekig mindent magukban foglaló „anyagregények” és világkörképek newtoniánus kiötlőivel ellentétben Hegel tökéletesen tisztában volt azzal, hogy a szintek megkülönböztetésének gondolatát — mely szerintünk, saját önmeghatározásától függetlenül, a növekvő összetettség és az időfogalom egyre sokrétűbb jelentéstartalmának felel meg — a matematikai természettudomány *ellenében* kell megalapozni. Meg is kísérelte, hogy szűkítse az utóbbi hatókörét, azaz megpróbálta kimutatni, hogy a fizikai viselkedésmódok matematizálásának lehetősége csak a legnyilvánvalóbb viselkedésmódokra érvényes. A mechanika matematizálható, mert az anyagnak kizárólag tér- és időbeli tulajdonságait ismeri el. „Egy téglában nem üt agyon egy embert, hanem csak az elért sebesség által hozza létre ezt a hatást: azaz az embert *tér és idő* üti agyon.”<sup>87</sup> Az embert az általunk kinetikai energiának ( $mv^2/2$ ) nevezett valami csapja agyon, vagyis az az elvont mennyiség, melynek értelmében a tömeg és a sebesség egymással felcserélhető: a hatás ugyanaz lesz, ha az egyiket csökkentjük, s ezzel egyidejűleg növeljük a másikat.

Hegel éppen ezt a felcserélhetőséget teszi meg a matematizálás feltételének, mely nem lehetséges akkor, ha a mechanika szintjét elhagyva átlépünk egy felsőbb szintre. Az anyag viselkedése ilyenkor egyre sajátosabbá válik. Például a téglában nem mozgó tömegként, hanem sűrűséggel, hővezető képességgel, ellenállással bíró testként fog viselkedni.



Most búcsúzzunk el a hegeli rendszertől. Csupán arra szeretnénk volna rámutatni, hogy filozófiailag rendkívül igényes és szigorúan átgondolt választ ad az idő és a bonyolultság felvetette lényegi kérdésekre. Ám tudósok egész nemzedékéből csupán végtelen idegenkedést és gúnyt váltott ki. A következő években a hegeli gondolkodás belső nehézségeit pedig csak tetézte, hogy ama természetfilozófiai jellegű tudományos források többsége, amelyek lehetővé tették számára, hogy leírja a szellem fejlődésének logikáját a természetben, teljes homályban maradt. Hegel ugyanis saját korának tudományos feltevéseire támaszkodott, midőn szembeszegült a newtoni rendszerrel.<sup>88</sup> Ám éppen ezek a hipotézisek kivételes gyorsasággal fejlődtek el. Tudománytörténeti szempontból valóban nehezen lehetne a XIX. század elejénél előnytelenebb pillanatot találni ahhoz, hogy a tudományos ismeretekben megtalálják a szükséges fogódzót a newtoni tudomány vetélytársának alátámasztásához. Ekkoriban se szeri, se száma nem volt a newtoni tudománnyal s általában a matematizálással minden jel szerint összeegyeztethetetlen elméleteknek, különösen a fizikában. Zömüknek néhány év elteltével nyomuk sem maradt: a matematizálás akkortájt kezdte éreztetni hatásait. Az energiamegmaradás felfedezése pedig egyesítette azt, aminek Hegel éppen az alapvető különeműségét kívánta aláhúzni.

Ne mélyedjünk el a XIX. századi természetfilozófiai kísérletek részleteiben. A romantika és Hegel filozófiáját csak azért említettük meg, mert rövid ideig a pozitív tudomány lehetséges vetélytársainak látszottak, s velük összefüggésben, a fogalmi építkezést és az egészet összefogni akaró intuíciót egyaránt sújtó hitelvesztés hozzájárult ahhoz, hogy végérvényessé váljék az általunk leírt kulturális szakadás. A XIX. század végén Bergson, amikor maga is a korabeli tudománynak a tudósok számára elfogadható vetélytársát keresi, újra az intuíció felé fordul, de ez már nem a romantikusok intuíciója, hanem olyasvalami, amiről ő maga nyíltan kimondja, hogy nem születhet belőle rendszer, csupán mindörökre részleges, nem általánosítható eredmények, melyek kimondásakor végtelen óvatosság ajánlatos.

Ettől fogva a tudományos megértés feladata az, hogy általánosítson, szabályokba szorítható ismeretekhez jusson el. A bergsoni intuíció azonos azzal a feszült figyelemmel, azzal a — minél elmélyültebb, annál nehezkesebb — előrehaladással, mely arra irányul, hogy a dolgokat a maguk egyediségében ragadja meg, hogy beléjük

hatoljon és ott megkapaszkodjon, hogy részévé váljék az őket alkotó tartamnak, miközben az elvonatkoztatás és az általános következtetés lehetősége fel sem merülhet. Igaz, az intuíciónak a közléshez szükség van a nyelvre, „hogy kifejezésre juttassa magát, eszményeket kell meglovagolnia”.<sup>89</sup> Ezt végtelen óvatossággal és türelemmel fogja megtenni, halmozva a képeket és a szemléletes hasonlatokat, hogy „átölelje a valóságot”.<sup>90</sup> Így fogja mind pontosabban érzékeltetni a kifejezhetetlent, mert egyedül az értelem képes kifejezni önmagát, vagyis az általános fogalmak és az elvont eszmék segítségével közölni valamit.

Az intuitív tudomány és a metafizika ezen az úton „válk vagy válhat egyformán pontossá és bizonyossá. Mindegyikük magáról a valóságról szól. De mindegyikük csak a valóság felét birtokolja, oly módon, hogy kedvünk szerint láthatnánk bennük a tudomány két ágát, vagy a metafizika két területét, ha nem alkotnák a gondolkodás két eltérő irányát”.<sup>91</sup>

A két eltérő irány meghatározása is a történelem gyümölcseinek tekinthető. Bergson számára elképzelhetetlen, hogy az anyag és az élet tudományaiban a korabeli fizika vetélytársát lássa. E tudományok — ahogy a későbbiekben igyekszik is ezt kimutatni — a mechanikát választották mintául. Írmaija sem maradt a racionalista reménynek, holott Diderot még bizakodva tekintette a kémia és az orvostudomány jövőjét. A tudomány Bergson szemében egységes, és megítélni is a maga egységében kell. Így jár el, amikor a tudományt annak a gyakorlatias, iparkodó értelemnek a termékeként magyarázza, mely az anyag urává kíván válni, s e célból elvonatkoztatás és általánosítás útján kimunkálja a szükséges értelmi kategóriákat. A tudomány annak az elemi igyekezetnek a terméke, mely hasznot akar húzni a világból, fogalmait pedig az a szükséglet határozza meg, hogy tárgyakat szerkesszen és mozgasson, előrelásson és hasson a természet tárgyaira. Ezért vált a racionális mechanika a tudomány mintájává, valóságos megtestesülésévé, miközben a többi tudomány homályos, zavaros formájában egy olyan megközelítés jelent meg, mely csak annál biztosabb a dolgában, minél erőtlenebb és szervezetelebb az általa vizsgált terület.

A bergsoni elemzés persze — gondoljunk csak Diderot-ra — nem késlekedik a tevékeny anyagot szembeállítani a fizikai tömeg tehetetlenségével, vagy ahogy Stahl tette, az élő anyag szervezetségét az

anyagot alkotó összetevők bizonytalan, változékony voltával. A fizika bírálata időközben ugyanúgy letisztult, miként a fizikai formalizálás, és az addigi szórványos kifogások most már egyesülhettek egyetlenegyben, melyből az összes többi származtatható: a tudományos értelem nem képes megérteni a *tartamot*, melyet a változás determinisztikus törvénye által összefűzött pillanatnyi állapotok egymásutánjára vezet vissza.

Márpedig „az idő vagy feltalálás, vagy egyáltalán semmi”.<sup>92</sup> A természet azonos a lendülettel, az újdonságok folyamatos teremtésével, lényegileg nyitott egész, mely előre meghatározott cél nélküli fejlődésben valósul meg. „Az élet azonban halad és tart”.<sup>93</sup> Ebből az előrehaladásból az értelem csak azt tudja megragadni, amit befolyásolható és kiszámítható elemek mozdulatlan formájába tud önteni.

A fizika „arra szorítkozik, hogy az ezt az időt alkotó események és a *T* pályáján elfoglalt pontjai közt egyidejűségeket jegyez. Ezeket az eseményeket elválasztja az egésztől, mely minden pillanatban új formába öltözik, és ezekkel az eseményekkel minden pillanatban közöl valamit a maga újdonságából. Elvont állapotban szemléli őket, amilyenek az élő egészen kívül, vagyis egy térben legördített idő ölnél volnának. Csak azokat az eseményeket vagy eseményrendszereket tartja meg, melyeket el lehet így szigetelni anélkül, hogy nagyon is mély átalakulást szenvednének, mert csak ezek engednek módszerének. Fizikánk attól a naptól datálódik, melyen ilyen rendszereket tudtak elszigetelni”.<sup>94</sup>

Amikor a tartamot magát kellene megérteni, a tudomány tehetetlennek bizonyul, szükség van az intuíciónak, „a szellem közvetlen látványára a szellem által”.<sup>95</sup> „A tiszta változás, a valóságos tartam szellemi természetű, vagy legalábbis átjárja a szellemiség. Az intuíciónak az, ami a szellemet, a tartamot, a tiszta változást megragadja”.<sup>96</sup>

Lehet-e bergsoni kudarcról beszélni abban az értelemben, ahogy mindenképpen kudarcnak fogjuk nevezni a posztkantianus természetfilozófiát? Kétségkívül igen, mégpedig abban az értelemben, hogy a Bergson által megalapítani kívánt, az intuíciónak alapozott metafizika nem született meg. Abban az értelemben viszont nem, hogy Bergsonnak, Hegellel ellentétben, volt bátorsága ítéletet mondani arról a tudományról, amely — összességében nézve — szilárd volt, sőt, éppen ez volt a tetőpontját elérő klasszikus tudomány. Így maradhatott felfogható számunkra is az a kritikai mérleg, amelyet

Bergson állított fel a klasszikus tudományról, azzal a különbséggel, hogy a mi szemünkben már nem a tudományos vállalkozás örökkévaló határainak meghatározásaként jelenik meg, hanem olyan célkitűzésként, mely most kezd megvalósulni a tudomány jelenkori átváltásai révén. Különösképpen, hogy ma már tudjuk: a Bergson által bírált idő-mozgás csak egyszerű dinamikai rendszerek meglehetősen szűk osztályára igaz. De ehhez a következtetéshez nem a tudományos eljárás mód vagy az elvont gondolkodás feladása útján érkeztünk el, hanem a klasszikus tudomány által használt fogalmak belső lényegi korlátozottságának felismerése révén. Olyan intellektuális eredmény ez, melyet Bergson sem vetett volna meg, ő, aki példaszerű értéket tulajdonított az infinitezimális matematika megalkotásának. Véleménye szerint a matematikusok és a fizikusok rendkívüli erőfeszítéseket tettek a gondolkodás megszokott irányának „megfordítása” érdekében, abból a célból, hogy ne a „teljesen készet”, hanem a „készülőt”, azaz a folyamatos mozgást írják le. Legalább ebben az esetben az intuíció követelményei, nem pedig a felfogóképesség volt a bábája „a leghatékonyabb kutatómódszernek, mellyel az emberi szellem rendelkezik”.<sup>97</sup>

Bár Bergson eszerint az infinitezimális matematikai analízist követendő példaként állította a metafizika elé — ami nyilvánvalóan kétségesse teszi tudomány és metafizika, avagy megértés és intuíció lényegi szembenállását —, tagadhatatlan, hogy végső soron nála is ugyanaz a vonás jut uralkodó szerephez, mint amelyet a tudomány posztkantianus bírálóinak többségénél fedeztünk fel. Hozzájuk hasonlóan, kristálytisztán és mélyrehatóan leírja a korabeli tudomány alapvető következményeit, és a tudományos elméletek e történetileg adott állapotát újfent azonosítja az általában vett tudománnyal. Ily módon megmerevíti a tudományos tevékenységet, annak történetileg adott korlátait állandónak látja, s máris joggal jut arra a következtetésre, hogy egyszer s mindenkorra el kell különíteni a tudomány és a többi kulturális vagy filozófiai tevékenység illetékességi területét, akárcsak az általuk alkalmazott módszereket, s ebből következőleg a *status quo* érinthetetlené válik. A menthetetlenül ellentmondásosnak ítélt eljárások merev felosztása ez, és csak remélhetjük, hogy ezek az eljárások egymás megsemmisítésének szándéka nélkül tudnak egymás mellett létezni.

Lehetséges-e olyan természetfilozófia, mely nem annak a tudománynak az ellenében jön létre, melynek megújulási képességét tagadja, s mellyel kapcsolatban azzal az igénnyel lép föl, hogy egyszer s mindenkorra kijelölje határait? Maurice Merleau-Ponty figyelmeztetett annak a terméketlen felosztásnak a súlyos következményeire, amely a természetet átengedné a tudománynak, miközben az emberi szubjektivitást és a történelmet a filozófia kizárólagos illetékességi körébe utalná: „Az az elhagyatottság, amely a természetfilozófia sajátja lett, a szellem, a történelem és az ember bizonyos felfogását rejti magában. Arról a szabadságról van itt szó, amellyel élve tiszta negativitásként jelenítjük meg őket. És fordítva, amikor visszatérünk a természetfilozófiához, csupán látszólag fordítunk hátat ezeknek az alapvető kérdéseknek, hiszen olyan megoldást igyekszünk lelni, mely nem immaterialista jellegű.”<sup>98</sup>

Tudjuk, hogy amikor ezekről a kockázatokról beszélve, Merleau-Ponty arra gondolt, hogy Whitehead kozmológiája figyelemreméltó próbálkozás lehet az akkoriban elhanyagolt természetfilozófia területén. Szeretnénk itt aláhúzni Whitehead filozófiájának néhány jellemző vonását; ez a filozófia egyformán vonzó nyíltan prekantiánus módszere és az egységes törekvés kínzó igénye miatt, mely főművét, a *Process and Reality*t is áthatja. Whitehead újra felfedeztet velünk a klasszikus filozófiák igazi mondanivalóját. Túl az elentmondásokon és kétségeken, ezekre a filozófiákra az egységes törekvés végletes igényétől áthatott, szigorú fogalmi kísérletek módszere jellemző.

Whitehead fő törekvése az volt, hogy az emberi tapasztalatot természeti folyamatként, fizikai létként értse meg. Ez az igény egyrészt arra készítette, hogy elvesse azt a filozófiai hagyományt, amely a szubjektív tapasztalatot mindenekelőtt a tudat, az érzékelés és a gondolkodás kategóriáiban ragadta meg, másrészt arra, hogy minden *fizikai* létezés a vágy, érzéklet, érzés, cél, döntés kategóriáiban gondoljon el, azaz harcba szálljon azzal, amit a XVII. század tudományából született „tudományos materializmusnak” nevezett.

Bergsonhoz hasonlóan tehát Whitehead is aláhúzta a XVII. század tudományából származó elméleti keret elégtelenségét. „A XVII. század végül létrehozta a tudományos gondolkodás keretét, melyet matematikusok dolgoztak ki matematikusoknak. A matematikai szellem fő jellemzője az absztrakciók kezelésére való képesség, valamint az,

hogy emiatt képes világos és bizonyító erejű levezetésekre, melyek teljesen kielégítőek mindaddig, amíg ilyen absztrakciókban kívánunk gondolkodni. A tudományos elvonatkoztatás létrehozza egyrészt az anyagot annak egyszerű térbeli és időbeli helyhez kötésével együtt, másrészt a szellemet, mely érzel, szenved és értelmez. A dolgokba viszont nem szól bele, és óriási sikere folytán az a feladat, hogy az anyagot és a szellemet mint a tények legkézzelfoghatóbb kifejeződési formáját fogadtassuk el, a filozófiára hárult. Ettől kezdve a filozófia pusztulásra ítéltetett. Bonyolult módon három véglet között ingadozik. A dualisták egyforma rangúnak tekintik az anyagot és a szellemet, a monisták pedig a szellemet vagy az anyagba helyezik, vagy az anyagot származtatják a szellemből. Ám az elvonatkoztatásokkal való bűvészkedés soha nem fogja lehetővé tenni, hogy meghaladjuk azt a belső zavart, amely abból fakad, hogy a XVII. századi elméleti keretet, helytelenül, kézzelfoghatónak tekintettük.”<sup>99</sup> Ám Whitehead számára történelmileg adott helyzetről van szó, nem pedig sorsszerűségről, és nem szükségszerű, hogy akár a tudomány, akár a kultúra foglya maradjon e zavarodottságnak.

Feltettük a kérdést: Lehetséges-e nem tudományellenes természet-filozófia? Mind az ideig Whitehead kozmológiája a legigényesebb kísérlet egy efféle filozófia megteremtésére. Whitehead semmilyen lényegi ellentmondást nem látott tudomány és filozófia között, s műve, mellesleg, helyenként egy matematikus műve. Feltett szándéka volt, hogy meghatározza azt a problémamezőt, melyen belül az emberi tapasztalat és a fizikai folyamatok kérdése összefüggő módon felvethető, valamint az, hogy megfogalmazza a probléma megoldhatóságának feltételeit. Szándéka tehát az volt, hogy megfogalmazza az összes fizikai létezők — a kőtől a gondolkodó emberig — jellemzéséhez szükséges alapelvek lehető legkisebb elemet számláló halmazát. E kozmológiát Whitehead szemében éppen egyetlenes érvényessége teszi filozófiává. Míg a tudományos elméletek mindegyike a rendkívül bonyolult és összetett világból kiválaszt és elvonatkoztat egy különös viszonyhalmazt, a filozófia nem részesítheti előnyben az emberi tapasztalat egyetlen területét sem, hanem a képzelőerő kísérletező munkájával kénytelen felépíteni egy olyan egységet, melyben jut hely a tapasztalat valamennyi vetületének, akár fizikához, a pszichológiához vagy a biológiához, akár az etikához vagy az esztétikához stb. tartoznak.

Whitehead tehát élesen megkülönböztette az általában vett tudományos elvonatkoztatást — beleértve a XVII. század fizikájának sikeres absztrakcióját is — az elvonatkoztatás által előnyben részesített általánosításoktól. Mégsem léphetett tovább, mert csak egy fogalomilag gazdagabb és kifinomultabb tudomány lehetett volna képes arra a párbeszédre, melyet ő az elvonatkozó-kiválasztó és az egységet kutató módszer, illetve a tudomány és a filozófia között elképzelt.

Whitehead — talán világosabban, mint bárki más — megértette, hogy a teremtő természeti változás, vagyis az a végső, már semmi másra nem visszavezethető tény, melyet minden fizikai lét előfeltételez, nem gondolható el akkor, ha a természetet alkotó elemeket úgy határozzuk meg, mint állandó egyedi entitásokat, melyek azonosságukat a változásokon és a kölcsönhatásokon keresztül tartják fenn. Másfelől viszont az állandóság látszólagossá tétele, a lét tagadása az átmenet nevében, az entitásoké a folyamatos, szüntelen áramlás nevében azt jelentette volna, hogy újra beleesünk a filozófiára leselkedő örök csapdába: „a magyarázat ragyogó hőstétével büszkélkedünk, miközben tagadjuk a magyarázandót”.<sup>100</sup> Whitehead számára a filozófia feladata tehát az, hogy összebékítse az állandóságot az átmenettel, hogy a dolgokat mint folyamatokat, az átmenetet pedig mint azonosítható entitások alkotórészét gondolja el, olyan egyedi entitásokét, melyek megszületnek és elpusztulnak. Ahelyett, hogy elmélyednénk Whitehead rendszerének részleteiben, csak azt jegyezzük meg, hogy e rendszer napvilágra hozza az összetartozást a *viszonyok* filozófiája, amikor is egyetlen természeti elem sem állandó hordozója a változó viszonyoknak, s azonosságát mindegyikük a többiekhez fűződő viszonyaiból meríti, és az *újító változás* filozófiája között, amikor is minden egyes létező keletkezése folyamatában egyesíti a világot alkotó sokféleséget, s ehhez a sokféleséghez egy további viszonyhalmazt tesz hozzá. Minden egyes új entitás születésekor „*the many become one and are increased by one*”.<sup>101</sup>

E könyv záró fejezetében újra találkozni fogunk Whitehead kérdésével, vagyis az állandóság és változás kérdésével, ezúttal azonban fizikai értelemben. Mi is kénytelenek leszünk olyan entitásokról beszélni, melyeket belsőleg az a megfordíthatatlan kölcsönhatás alkot, melyben a világgal állnak. A mai fizika valóban felfedezi annak szükséges voltát, hogy egyszerre hangsúlyozza az egységek és

a viszonyok *különbözőségét* és *összetartozását*, amiként elismeri azt is, hogy egy kölcsönhatás megvalósulásához egyszerre van szükség arra, hogy az egymással kapcsolatban álló dolgok „természete” e viszonyok terméke legyen, valamint arra, hogy a viszonyok meg a dolgok „természetéből” származzanak (lásd a Befejezés 4. szakaszát). Ám akkor, amikor Whitehead a *Process and Realityt* írta, az instabil elemi részecskék gondolata — e részecskék fizikai létezéséből *következik* a megfordíthatatlan változás — még meg sem kísértette a fizikát, és Whitehead filozófiájának csak a biológiában támadt visszhangja.<sup>102</sup>

Milyen tanulság származhat e filozófiai kérdések rövid áttekintéséből? Ha — jóllehet az utak különbözőek lehetnek — a tudománynak és a filozófiának egymásra kell találnia, hogy közösen véget vessenek a kultúránkat megosztó szembenállásnak, ha a tudománynak nem valami távoli, ijesztő és megközelíthetetlen műveletként, hanem olyan eljárás-ként kell megjelennie, amelyet a kultúra is elfogadhat, akkor véget kell érnie az absztrakció uralmának, mely a tárgyat megmerevíti a megismerő ellenében. A természet, mely a tudomány tárgya, egyben szülőanyja is a tudományt művelni képes embereknek: az átfogó megértés igényére a tudományos elméletek magától értetődően nem adhatnak egyetlen és elégséges választ. Ennek az igénynek a tudományon belül kell elnyernie értelmét, s a tudósoknak ezt maradéktalanul meg kell érteniük.

Ez a rendkívül fontos igény a valóságban igen körülhatárolt formákban jelentkezhethet, de egyetlen tudományos elmélet sem lehet elégséges ahhoz, hogy — mint olyan — igazolja az idő olyasfajta redukcióját, mint amelyet a klasszikus dinamika hajtott végre. Az idő tagadása, azaz egy megfordítható törvény determinisztikus érvényesülésére való visszavezetése azt jelenti, hogy lemondunk egy olyan természetfelfogás lehetőségéről, mely a természetet úgy határozná meg, mint amely képes létrehozni az élőlényeket és különösképpen az embert. Ezzel csak arra ítélnénk magunkat, hogy választanunk kelljen a tudományellenes filozófia és az elidegenítő tudomány között.

Sokszor említettük, hogy tudományunk már nem azonos a Bergson által bírált klasszikus tudománnyal. Már régóta nem volt azonos vele, de erről nem tudtunk. Az összetettség matematizált tudománya a termodinamikával született meg a XIX. században. A változás kérdésköre ekkor lépett be a fizikába. Ám — ahogy meg



fogjuk mutatni — ez az esemény eleinte nem új válaszokhoz, hanem paradoxonokhoz, nehézségekhez és a legszilárdabb kategóriák lassú elporladásához vezetett. A mából visszatekintve láthatjuk, hogy az, ami kibontakozóban volt abból, amit zavarként éltünk meg, nem más volt, mint a természet bonyolultságának és a világ kulturális és technikai átalakulásának kérdése, a klasszikus világ leáldozására adott első tudományos válasz.

## *Második könyv*

### *Az összetettség tudománya*



## IV. Az energia és az ipari korszak

### I. A hő mint a tömegvonzás vetélytársa

#### Második könyv

### Az összetettség tudománya

"*Jenis mutat res*" — elvise a régi alkímisták jelzava is idéz, a kémiai a kezdetektől fogva a fiz. tudományaként jelenkedő természettudományok tudományaként ismerték a természettudományok elősegítette, hogy az újkor tudományosságba természetesen az, amit a dinamika nyugodt pályáinak nevében az új tudomány tagadott: a megfordíthatatlanság és a bizonytalanság.

A fiz. alakítja a dolgokat, lehetővé teszi a testeknek, hogy vegyi reakcióba lépjenek, feloldódjanak, kilégüljenek, felolvadjanak vagy szilárduljanak, és természetesen lehetővé teszi a hirtelenségek, hogy vagy hő- és láng kibocsátás kíséretében menjen. A XIX. század második felétől — mint mindenki tudja, és tudta akkor is — a hővesztés elkerülése fontosnak az égés hőjének, a hő pedig a hővesztés elkerülése, vagyis mechanikai hatást eredményezhet. A hő tehát lényeges az ipari, a hő erején alapuló gépek működésében: a hőerőgépek egyik fő részét — ugyanebben a korban — az ipari társadalom.

Tudományilag ez a tudomány volt. Idézünk fel ezzel kapcsolatban egy sokszorosított adalékot.<sup>10</sup> Amikor Adam Smith a természetgazdaságról dolgozott, azaz az ipari fejlődés tüneteiről és megfigyelhető okairól gyűjtögetett adatokat, ugyanazon az egyetemen James Watt a gőzgép tökéletesítésével foglalkozott. Azt látványosan Adam Smith a szöveg csak a munkások fűtőanyagaként tudta elhelyezni. A XVIII. században a szőlő, a víz és az állatok által megadott energia gépek nagyjából az egyedül elképzelhető források voltak a hirtelenségek, amelyre az iparnak egyre nagyobb szüksége van.

Az angol hőerőgépek gyors elterjedése az ipari társadalom fejlődését, a hővesztés elkerülése a testek végbenmenet alakulások eredményeként.



## IV. Az energia és az ipari korszak

### 1. A hő mint a tömegvonzás vetélytársa

„*Ignis mutat res*” — ez az ősi bölcsesség, melyet a régi alkimisták jelszava is idéz, a kémiát a kezdetektől fogva a tűz tudományaként jelenítette meg. A XVIII. században tapasztalati tudományként elismert tűz tudománya elősegítette, hogy az újkori tudományosságba visszatérjen az, amit a dinamika nyugodt pályáinak nevében az új tudomány tagadott: a megfordíthatatlanság és a bonyolultság.

A tűz átalakítja a dolgokat, lehetővé teszi a testeknek, hogy vegyi reakcióba lépjenek, feloldódjanak, kitáguljanak, felolvadjanak vagy elpárologjanak, és természetesen lehetővé teszi a tüzelőanyagok, hogy nagy hő- és lángkibocsátás kíséretében elégjen. A XIX. század mindebből — mint mindenki tudja, és tudta akkor is — a következőt tartotta fontosnak: az égés hőt termel, a hő pedig térfogatváltozást okozhat, vagyis mechanikai hatást eredményezhet. A hő tehát képes új típusú, a hő erején alapuló gépeket működtetni: a hőerőgépek fogják létrehozni — ugyanebben a korban — az ipari társadalmat.

Technikailag ez újdonság volt. Idézzünk fel ezzel kapcsolatban egy anekdotaszerű adalékot.<sup>103</sup> Amikor Adam Smith *A nemzetek gazdagságán* dolgozott, azaz az ipari fejlődés távlatairól és meghatározó erőiről gyűjtögetett adatokat, ugyanazon az egyetemen James Watt a gőzgép tökéletesítésével foglalatoskodott. Ám könyvében Adam Smith a szenet csak a munkások fűtőanyagaként tudta elképzelni! A XVIII. században a szél, a víz és az állatok által mozgatott egyszerű gépek nagyjából az egyedül elképzelhető forrásai annak a hajtóerőnek, amelyre az iparnak egyre nagyobb szüksége van.

Az angol hőerőgépek gyors elterjedése új tudományos kérdéssel, a hő következtében a testeken végbement átalakulások kérdésének új-

szerű megfogalmazásával járt együtt. A kérdés, melyből a termodinamika megszületett, nem a hő természetére vagy a testekre gyakorolt hatására vonatkozott, hanem e hatás hasznosítására. Az vált érdekessé, hogy a hő mely feltételek mellett képes „mechanikai energiát” termelni, vagyis motort működtetni.<sup>104</sup>

Mindig csábító, néha hasznos is, ha kiválasztunk egy jelképes, bevezető jellegű eseményt, a lehetőségek megnyíló új birodalmának első valódi, hatásos és szembetűnő megnyilvánulását. Ami az összetettség tudományát illeti, ebben az értelemben szerintünk az már 1811-ben „megkezdődött”. Ebben az évben, amikor Laplace követői diadalmaskodtak, és az európai tudomány uraivá váltak, Jean-Joseph Fourier báró, Isère megye prefektusa, elnyerte az Akadémia díját elméleti munkájával, melyben a hő terjedését tárgyalta a szilárd testekben. Laplace, Lagrange és tanítványaik hiába bírálták egyesült erővel az új elméletet, végül mégiscsak be kellett adniuk a derekukat.<sup>105</sup> A laplace-i álom, dicsősége teljében, elszenvedte első kudarcát: ezentúl létezik egy fizikai elmélet, mely matematikailag éppoly szigorú, mint a mechanikai mozgástörvények, ugyanakkor teljes mértékben idegen a newtoni világtól. A matematikai fizika és a newtoni tudomány ettől kezdve mást jelentenek.

Mint ahogy Fourier hangsúlyozta, a hő terjedése két különböző hőmérsékletű test között *sui generis* jelenség, melyet felesleges és hiábavaló volna mindenáron visszavezetni két szomszédos tömeg dinamikai kölcsönhatásaira. Az új törvény valóban könnyed egyszerűséggel mondja ki, hogy két test között a hőáramlás arányos a két test közötti hőmérsékletgrádienssel. Hogyan is lehetne e terjedési folyamatot kapcsolatba hozni a dinamikai erőkkel és gyorsulásokkal? Másfelől viszont ugyanúgy általános törvény ez is, mint a newtoni törvények: az általa leírt jelenség éppen annyira egyetemes, mint a tömegvonzás. Minden test rendelkezik tömeggel, és ezért gravitációs kölcsönhatásban áll a Világegyetemben található összes többi testtel, de egyszersmind minden test képes hőt felvenni, felhalmozni és átadni, és ezért központja a hő felhalmozásával és terjedésével kapcsolatos folyamatok összességének.

A hőterjedés törvényei megfogalmazásának eredményei nem pusztán jelképesek voltak: Franciaországban és Angliában is olyan folyamatokat indítottak el, amelyek máig éreztetik hatásukat.

Franciaországban a Laplace-i álm kudarcra hozzájárult a tudomány pozitívista elzárkózásához, melyet újabban Michel Serres több helyütt is tárgyalt.<sup>106</sup> A hő és a tömegvonzás, e két egyetemes jelenség, egymás mellett létezik a fizikában, sőt, ami még rosszabb — ismeri el Auguste Comte —, kibékíthetetlen ellentmondás jellemző rájuk: a gravitáció egy tehetetlen tömegre hat, mely a hatást *elszenved*, s ezzel a tömeggel azon túl, hogy mozgásra tesz szert vagy mozgást ad át, nem történik változás; a hő viszont *átalakítja* az anyagot, állapotváltozást, lényeges tulajdonságok módosulását eredményezi. E szembenállásból kiindulva — melyben felidéződnek a XVIII. század Newtont bíráló kémikusainak és mindazoknak a kritikai kifogásai, akik hangsúlyozták a különbséget a tömegnek tulajdonított, tisztán tér- és időbeli viselkedés, valamint az anyag sajátos tevékenysége között — a pozitívizmus fel fogja építeni a tudományok hierarchiáját, melyet a rend, azaz az egyensúly közös jegyében foglal össze. Az erők dinamikai egyensúlya mellett ettől kezdve a hőegyensúllyal is számolnunk kell, mert a hőterjedés mindig igyekszik homogén hőmérsékleti eloszlást létrehozni abban a testben, melyben végbemegy.

Angliában a hőterjedés elmélete nem járt azzal a következménnyel, hogy felhagytak volna az ismeretek mezejének egységesítésére irányuló törekvésekkel, vagy a már semmire vissza nem vezethető tényekre alapozott tudományágak sajátos jellegének állításával. Éppen ellenkezőleg, kiindulópontja lett a megfordíthatatlanságra vonatkozó kérdésfeltevésnek, mely azóta is meg-megingatja a bezárkózás és a hierarchizálás falait.<sup>107</sup>

Mindenki tisztában volt azzal, hogy Fourier törvénye egy nem egyöntetű hőmérsékleti eloszlással rendelkező elszigetelt test esetében a hőegyensúly lassú beállítását írja le: a hő terjedése azzal a hatással jár, hogy fokozatosan kiegyenlíti a hőmérsékleti eloszlást, egészen a végső homogenitás kialakulásáig. Mindenki tudta, hogy ez a törvény nem megfordítható, hiszen a hőnek alapvető tulajdonsága, hogy — Boerhaave kifejezésével élve — állandóan „terjeszkedve” a kiegyenlítés felé tart, soha nem összpontosul, és magától nem hoz létre hőmérséklet-különbségeket. Ily módon az összetett jelenségek tudománya, mely fölöttébb nagyszámú részecske kölcsönhatásával dolgozik, a kezdetektől fogva *de facto* összekapcsolódott az időszimmetriával. Hogy megértsük, miképpen *ismerte fel* és fogadta magába a fizika ezt a kapcsolatot, újra szemügyre kell vennünk a hő tudomá-

nyának kibontakozását és azokat a forrásokat, amelyekből táplálkozott: a matematikai fizika módszereit, a laboratóriumi kísérleteket és a metafizikai elképzeléseket.

Akárcsak a mechanika, a hő tudománya is magában foglalja a fizikai *objektum* egyfajta fogalmát, valamint a *mozgató erő* („gépzet”) definícióját, más szóval, az ok és az okozat azonosítását egy mechanikai munkát termelő sajátos rendszerben. Vizsgáljuk meg közelebbről ezt a kettős sajátosságot!

A hővel kapcsolatos fizikai viselkedés tanulmányozása azt jelenti, hogy egy rendszert nem összetevőinek helyzetével és sebességével határozzuk meg, mint a dinamikában (egységnyi térfogatú gázban vagy köbcéntiméter nagyságrendű szilárd részben néhányszor  $10^{23}$  számú molekula van), hanem makroszkopikus változók halmazával. Ezek a jellemzők meghatározzák a rendszer összetételét, valamint a rajta kívül eső, immáron „környezetként” meghatározott világhoz fűződő kapcsolatait (peremfeltételek).

Vegyük a fajhő példáját, a fizikai-kémiai rendszerek alapvető tulajdonságainak egyikét! A fajhő azt a hőmennyiséget méri, amelyre egy meghatározott kémiai összetételű rendszernek szüksége van ahhoz, hogy hőmérséklete egy fokkal megemelkedjék, miközben vagy a térfogat, vagy a nyomás értéke nem változik. Ha a fajhőt állandó térfogat esetén kívánjuk tanulmányozni, a rendszerre peremfeltételei révén gyakorolunk hatást; ezek közül egyeseket módosítunk, miközben a többit változatlanul hagyjuk. Adott esetben változatlan térfogat mellett meghatározott mennyiségű hőt közlünk a rendszerrel, miközben a nyomást szabadon hagyjuk változni. A fajhő segítségével előre megmondhatjuk, miképpen fog válaszolni a rendszer erre a környezettel való kölcsönhatásra.

Egy anyagi rendszerre általában a peremfeltételek révén gyakorolhatunk hatást: *mechanikai hatást* (például egy dugattyús szerkezettel beállíthatjuk a rendszer nyomásának vagy térfogatának értékét), *hőhatást* (a rendszernek átadható vagy tőle elvehető meghatározott mennyiségű hő, továbbá hőcserék útján eljuttatható meghatározott hőmérsékletre), vagy akár *vegyi hatást* is (reagensek és reakciótermékek cseréje a rendszer és környezete között). Nyomás, térfogat, vegyi összetétel, hőmérséklet és hőmennyiség — ezek azok a klasszikus fizikai-kémiai változók, amelyekkel az anyagi rendszerek legáltalánosabb tulajdonságait meghatározhatjuk. A *termodinamika* tuda-



mánya e tulajdonságok egymással kapcsolatban álló változásaival foglalkozik. Tehát a termodinamikai objektum a dinamikai objektumhoz képest új nézőpontot képvisel a fizikai átalakulások vizsgálatában. Többé már nem egyetlen változás megfigyelése van napirenden, és nem az a cél, hogy a rendszer elemei közti kölcsönhatások eredményét kiszámítva megjósolhassuk ezt a változást. *Hatást kell gyakorolnunk* a rendszerre, és azt kell megjósolnunk, hogyan fog reagálni a *rákényszerített* változásra. A leírás a makroszkopikus állapot mint olyan által elszenvedett változásokat veszi célba, azt a módot keresi, ahogyan az egyik *paraméter* módosítása az összes többire hat.

Másfelől egy mechanikai *gépezet* — munka formájában — csupán visszaszolgáltatja azt a helyzeti energiát, amelyet egy korábbi kölcsönhatás során a világtól kapott: ok és okozat ugyanolyan természetű és — eszményi esetben — egyenértékű. Egy termikus gépezetben (hőerőgép) a világgal való hőcserék az adott anyagi rendszer számára *állapotváltozással* járnak, ami többek között a mechanikai tulajdonságok megváltozását vonja maga után: tágulás vagy összehúzódás következik be. A mechanikai munka, a dugattyú mozgása tehát a rendszer lényegileg belső átalakulásából, nem pedig a mozgás egyszerű átadásából ered.

A hőerőgép ezért nem passzív szerkezet, hanem valójában mozgást *termel*.<sup>108</sup> Ebben rejlik a hatásfokszámítás által felvetett új probléma: egy mozgást termelő állapotváltozás után — ha azt akarjuk, hogy a rendszer ama képessége, hogy hőtől mozgást képes termelni, *visszaálljon* — szükség lesz egy *második* folyamatra, amely a rendszert visszajuttatja eredeti állapotába, vagyis egy olyan második állapotváltozásra, amely *kiegyenlíti* a mozgást termelő változást. A hőerőgép esetében ez a második folyamat, mely azonos értékű az elsővel, s egyszersmind a motor rendszerének átalakulása szempontjából annak fordítottja, nem más, mint a *lehűlés*, mely lehetővé teszi a rendszernek, hogy visszanyerje eredeti hőmérsékletét, nyomását és térfogatát, miközben hőt ad le a világnak.

A hőerőgép hatásfokának, azaz a termelt munka és a *két folyamat kiegyenlítéséhez* a rendszernek juttatandó hőmennyiség közötti viszony kérdése az a keresett pont, ahol a megfordíthatatlan folyamat fogalma bekerül a fizikába. A továbbiakban rámutatunk a Fourier-törvény és a kulturális-technikai környezet jelentőségére ebben a

rendkívül fontos epizódban. Ám egészen bizonyos, hogy a döntő szerepet a fizika ama új egységesülése játszotta, mely az energiamegmaradás elvének köszönhető.

## 2. Az energiamegmaradás elve

Már beszéltünk az energiának a dinamikában játszott igen fontos szerepéről: a Hamilton-függvény — a kanonikus változóban kifejezett kinetikai és helyzeti energiák összege — leírja e változók átalakulását, miközben önmaga változatlanul megőrződik a változás folyamán. A dinamikai folyamat csupán módosítja a két energia arányát.

A XIX. század elején<sup>109</sup> a kísérleti tevékenység soha nem látott pezsgésnek indult: a laboratóriumokban nagyszámú „új hatást” fedeztek föl, melyek azt a gondolatot sugallták a fizikusoknak, hogy a mozgás nem csak a testek térbeli elhelyezkedését, vagy más szóval a helyzeti energia értékét változtathatja meg. Tény és való, ezek a laboratóriumokban elszigetelt folyamatok valóságos láncolatot alkottak, melyben végül összekapcsolódtak egymással mindazok a különböző kísérleti ágak, amelyek vagy frissiben virágoztak ki a fizikában, vagy — mint a mechanika — már régóta tudományá szerveződtek. A mozgás különösen alkalmas volt arra, hogy előidézzék az e kísérletek során tanulmányozott folyamatok mindegyikét.

Galvani minden előzetes meggondolás nélkül hajtotta végre e mezők összekapcsolását. Az elektromosság szakértőinek mindaddig csak nyugvó elektromos töltésekről volt tudomásuk. Galvani egy béka testében létrehozta az első kísérleti elektromos áramkört. Nemsokkal később Volta a béka „galvanikus” összehúzódaiba az elektromos áram áthaladásának jelét ismerte fel. 1800 után pedig megszerkesztette a vegyi elemet: a kémiai reakciók képesek elektromosságot termelni. Azután következett az elektrolízis: az elektromos áram képes módosítani a kémiai affinitást, és vegyi reakciókat vált ki. De az áram fényt és hőt is fejleszt, és 1820-ban Oersted kimutatta, hogy mágneses hatása is van. 1822-ben Seebeck megállapította, hogy fordítva is igaz, a hő áramot termelhet, 1834-ben pedig Peltier bebizonyította, hogy egy testet az elektromosság segítségével lehet hűteni. Végül 1831-ben Faraday kimutatta, hogy a mágneses hatások áramot indukálnak.

1847-ben Joule végül megtette a döntő lépést: a kémia, a hő tudománya, az elektromosság, a mágnesség és a biológia összekapcsolását *konverzióként* fogalmazta meg. A konverzió annak általánosítása, ami a mechanikai mozgások során történik: a laboratóriumokban tanulmányozott összes jelenségekből azt a következtetést vonják le, hogy „valami” mennyiségileg megőrződik, miközben minőségileg formát vált. Abból a célból, hogy meghatározza e minőségileg különböző formák közti viszonyokat, Joule a fizikai-kémiai átalakulások általános *egyenértékét* definiálta, ami lehetővé teszi, hogy megmérjék azt a megőrződő mennyiséget, melyet a későbbiekben mint „energiát” fognak azonosítani.<sup>110</sup> Az első egyenértékűséget úgy állította fel, hogy megmérte, mennyi mechanikai munka szükséges ahhoz, hogy adott vízmennyiség hőmérséklete egy fokkal emelkedjék. Ezzel a fizikai-kémiai folyamatok mennyiségi jellegű tudománya a maga egységében elismerést nyert. Egy fizikai mennyiség, az energia megmaradása — a fizikai, kémiai, biológiai rendszerek által elszenvedett átalakulásokon keresztül — ettől fogva alapjává lesz annak, aminek az összetettség tudománya nevet adhatjuk. Azzá a vezérfonallá válik, amelyet követve a természeti folyamatok sokfélesége összefüggő módon kutatható.

Nincs semmi meglepő abban, hogy az energiamegmaradás elve rendkívüli jelentőségre tett szert a XIX. század fizikusainak szemében. Sokuk szerint az egész természet, és nem csupán a különféle kísérleti ágak nyerték el így egységüket. Ezt a meggyőződést Joule az angol kultúra sajátos gondolati közegében fogalmazta meg. „Tulajdonképpen a természeti jelenségek, akár mechanikaiak, akár kémiaiak vagy az étellel összefüggők, szinte kizárólag a térben érvényesülő vonzóerő, az elevenerő [*NB.* kinetikai energia] és a hő egymásba való átalakulásai. Ezen a módon marad fenn a Világegyetem — semmi nem bomlik meg, semmi soha nem vész el, hanem az egész gépezet, bármilyen bonyolult is, nyugalomban és összhangban működik. És még ha, mint Ezékiel szörnyűséges látomásában, »egyik kerék a másik kerék közepében volna« [Ez 1,16] is, és a dolgok mindegyike bonyolultként és zavarosként jelenne is meg, az okok, okozatok, átváltozások és összekapcsolódások szinte végeérhetetlen sokszínűségének látszólagos kuszaságában és összefonódásában a legtökéletesebb összhang uralkodik, mert a teljességet Isten korlátlan akarata mozgatja”.<sup>111</sup>

Még jellemzőbb a német Helmholtz, Mayer és Liebig példája, akik mindhárman egy olyan kultúrához tartoztak, amely a Joule-féle érveket a szigorúan pozitivista gyakorlat nevében elutasítóan fogadta. Egyikük sem volt kimondottan fizikus, amikor felfedezéseiket tették, mindhárman a légzés fiziológiájával foglalkoztak előzőleg. Meg kell jegyeznünk, hogy Lavoisier óta a légzés fiziológiája volt a mintaprobléma, az első, amelyben a élőlény működése fizikai és kémiai fogalmakkal — az oxigén elégetése, a hőkibocsátás, az izommunka fogalmaival — volt leírható. Vagyis ez volt az a probléma-típus, amely magához vonzhatta a romantikus okoskodásokat elutasító fiziológusokat és kémikusokat, akik égetek a vágytól, hogy részt vállaljanak egy ténytudomány felépítésében. Ám abból, ahogyan ez a három kutató azonnal arra a következtetésre jutott, hogy először is a légzés, majd nyomban utána az egész természet egy alapvető egyenértékűségnek van alávetve, arra következtethetünk, hogy nem másról van szó, mint hogy a német filozófiai hagyomány „beléjük vésett” egy, az általuk művelni kívánt, szigorúan ténytudománytól igencsak idegen gondolatot, nevezetesen azt, hogy a természetet, a maga teljességében és maradéktalanul, egyetlen általános törvényszerűség, egyetlen oksági elv fogja egységbe.

Mayer története a leglátványosabb:<sup>112</sup> fiatal orvos volt a jávai holland gyarmatokon, amikor feltűnt neki egyik betege vénás vérének élénkvörös színe. A következtetés magától adódott: mivel a trópusokon melegebb van, az ott lakóknak kevesebb oxigén elégetésére van szükségük a testhőmérséklet fenntartásához, s ez nyilvánul meg a vér élénkvörös színében. Mayer ebből kiindulva mérleget állított fel egyrészt az oxigénfogyasztás — mondhatnánk, az energiaforrás —, másrészt a hőmérséklet fenntartásához fűződő fogyasztás között, melyet a hőveszteség és a fizikai munka befolyásol. Ez a mérleg már önmagában is jócskán túllép a kiinduló megfigyelésen: a vér színét nyugodtan írhatnánk a beteg „lustaságának” számlájára. Ám a mérleg még csak az első általánosítás, mert Mayer rögvest arra a következtetésre jut, hogy csupán annak az egyetlen és elpusztíthatatlan erőnek az egyik különös megnyilvánulási formájával van dolga, amely az élő és élettelen természet minden jelenségének alapja.<sup>113</sup>

Az a „készség”, hogy a természeti átalakulásokban egy mélyebb, változásain keresztül önmagát azonosként megőrző valóság megnyilvánulásait ismerjék fel, tagadhatatlanul egyfajta kanti gondolkodás-

módra utal, éppúgy, mint egyes fiziológusoknak az a gondolata, melyet csupán megemlítünk: még ha valamiféle „életerő” szolgál is az élőlények működésének alapjául, a fiziológia tárgya attól még nem veszíti el tisztán fizikai-kémiai jellegét. Látható, hogy miképpen lehetett Kant szellemében gondolkodni, s ez jogszerűvé tette azt a rendszeres formát, amelyet a matematikai fizika a XVIII. század folyamán magára öltött, s amelyből — többek között — a fizika XIX. századi megújulása táplálkozott.<sup>114</sup>

Egyébként Helmholtz, a legkiemelkedőbb képviselője azoknak a tudósoknak, akik részt vettek ebben a megújításban, igen világosan felismerte ezt a hatást.<sup>115</sup> Számára az energiamegmaradás annak az általános követelménynek a megtestesülése volt a fizikán belül, hogy a természet — s ez minden tudománynak előfeltétele — megérthető: állásfoglalás ez a természeti átalakulásokon túlmutató alapvető változatlanosság mellett. „A tudományok problémája először is az, hogy olyan törvények után kell kutatniuk, melyek segítségével a különös természeti folyamatok vissza- és levezethetők általános törvényekből... Ezt az eljárást igazolja, sőt kikényszeríti az a meggyőződés, hogy minden természeti változásnak *kell* legyen elégséges oka. A közvetlen okok, amelyekre a jelenségek visszavezethetők, önmaguk lehetnek változók vagy változatlanok. Az előbbi esetben a szóban forgó meggyőződés arra készíten bennünket, hogy olyan okokat keressünk, amelyek megmagyarázzák ezt a változást, mindaddig, amíg el nem érkeznünk a végső, változatlan okokhoz, vagyis azokhoz, amelyek minden egyes esetben, amikor a külső feltételek ugyanazok, ugyanazokat a változatlan hatásokat eredményezik. Az elméleti természettudományok végső célja tehát az, hogy felfedezzék a természeti jelenségek végső és változatlan okait.” Ez az a forma, amelyet a Kant nyomdokait követő gondolkodás egy bizonyos válfaja magára ölt a XIX. században: az energiamegmaradás eleget tesz a racionális ismeretszerzés minden követelményének, felfedezése pedig ilyen értelemben a fizika és minden ténytudomány végső megkoronázása.

Az energiamegmaradás elve nemcsak a tudományos elméletekre, hanem a tudományról kialakított képre is rendkívüli hatással volt. Uralkodóvá válik az a gondolat, hogy a fizika újabb aranykora következik el, amely annak a gondolkodási és érvelési módnak lesz majd betetőzése és általánossá válása, amely a mechanika sikereit is megalapozta. Sokan gondolták úgy, hogy az energia tudománya

magában foglalja — mint megannyi különös esetet — és összeolvasztja a különböző fizikai elméleteket egy olyan elképzelésbe, mely a fizika végső igazsága lesz.

A kulturális visszhang is hatalmas volt: az ember az új felfogásban energetikai gépezetként jelenik meg (egy példa: egy nemrég megjelent írásában Jacques Lacan kimutatja, hogy ez az elképzelés sokban befolyásolta a freudi elméletet).<sup>116</sup> Az új elképzelés a társadalmat motornak látja — hadd utaljunk itt Michel Serres Zola-elemzésére<sup>117</sup> — s végül a természetet magát is „energiának”, azaz minőségi különbségeket teremtő és termelő erőnek tekinti.

Mellesleg, ebből a szempontból az elv maga kétértelmű: az általa leírt természet gazdaságosnak, jól szervezettnek, nyugodtnak és ellenőrizhetőnek látszik; minden jel szerint alá van vetve a kísérleti egyenértékűségeknek, melyeken nem lép túl. Ebből a szempontból Bergson nem tévedett, amikor semmi újat nem látott az energia tudományában. Mégis, a tehetetlenség mögött, amelyre a tudományos leírás kárhóztatta a természetet, egyesek, mint például Nietzsche is, egy teremtő és romboló természet elfojtott erejét észlelték, melynek hatalmát — hogy letörje ellenállását — a tudomány is kénytelen volt elismerni. De az energia átalakulásait az egyenértékűség keretében megfogalmazó tudománynak is el kell fogadnia, hogy egyedül a *különbség* hozhat létre hatásokat, s ezek a hatások maguk is különbségek.<sup>118</sup> Az energia átalakulása nem más, mint egy különbség *le-rombolása*, s újabb különbség *teremtése*. Ebből a szemszögből nézve az energia tudománya egyszerre fedi fel és rejti el — a hagyományos formák mögött — a természet hatalmát. Ahelyett hogy kísérleteket végeznénk, melyekben a teremtő természet igába kényszerül s alávetetik az előre felállított egyenértékűségnek, a természet megértéséhez fel kell idéznünk a gőzgépek morajló kazánját, a kémiai reaktorokban zajló átalakulások fortyogását, az egyedek és fajok életét és halálát, megannyi kísérletet, melyekben a természet teremtő és romboló ereje kiteljesedik.

Annak a meggyőződésnek, hogy a természet nem rendezett egész, hanem egymással ellentétes hatásokat termelő erő folytonos kibontakozása — e hatások harcban állnak egymással az elsőbbségért és az uralomért —, természetesen van filozófiai közege és gyökere, ám ettől még nem tilos kihallanunk belőle a gépek zaját is, nem a laboratóriumi szerkezetekét, hanem az ipari gépekét, amelyek kevesebb

mint egy évszázad leforgása alatt olyan hatásokat eredményeztek, melyek össze sem hasonlíthatók a vízzel, széllel és állati vagy emberi erővel hajtott egyszerű gépekével.<sup>119</sup>

### 3. A hőerőgépektől az időnyílág

De ha — s joggal gondolhatjuk így — a hőerőgépek, a mozdonyok vöröslő kazánjának látványa — a szén visszafordíthatatlanul elég azért, hogy mozgás keletkezzék — teremti meg az áthatolhatatlan távolságot a klasszikus szellemek és a XIX. század kultúrája között, akkor mindenesetre figyelemre méltó, hogy ezt a távolságot a fizika eleinte nem akarta tudomásul venni, úgy vélvén, hogy az új gépeket is le lehet úgy írni, mint a régebbieket, vagyis kizárólag az egyenértékűség és az eszményi határfok szempontjából tekintve őket, s nem volt hajlandó figyelembe venni azt az új tényt, hogy az, amit a gőzgép elfogyaszt, végleg elvész. Egyetlen hőerőgép sem szolgáltatja vissza a világnak a megemésztett szenet.

Az energia tudománya tehát magát a természetet is úgy kívánta leírni, mint egy megfordítható mérlegek által szabályozott konverziós mechanizmusegyüttest, miközben az emberek szemében az már, gépraktárrá válván, belátható időn belül kimerüléssel fenyeget. Ez az az új helyzet, amelyben szerintünk a fizika későbbi átalakulása megfogant. A fizikai megfordíthatatlanság fogalma mindenesetre a megmaradás lidércfényét tükrözi a fizikában: a világban — mint egy hatalmas kemencében — a megfordíthatóság lehetősége nélkül ég a tűz. Az energiának tehát, megmaradása ellenére, szét kell oszlania.

Vagyis minden igazán klasszikus módon kezdődött: a termodinamika, mely Sadi Carnot-nak a tűz mozgatóerejére vonatkozó kutatásaival született meg 1824-ben, sikerrel alkalmazta a hőerőgépek tanulmányozásában a klasszikus gépek modelljét, amelynek első és leghatásosabb rendszeres leírását éppen Lazare Carnot, Sadi apja alkotta meg. Az egyszerű gépek működése a mozgást adottnak veszi, melyet csupán átalakít és átad más testeknek. Az ifjabb Carnot éppígy „képzelte el” a hő terjedését: vett két adott hőmérsékletű hőforrást, egy hideget és egy meleget. A tudomány így egy csapásra elhallgattatta a kemencéket. Ezentúl egyedül az égés *hatása* érdekelte:

az, hogy egy motor rendszerén belül az egyik test hogyan tartható melegen, a másik pedig hidegen.

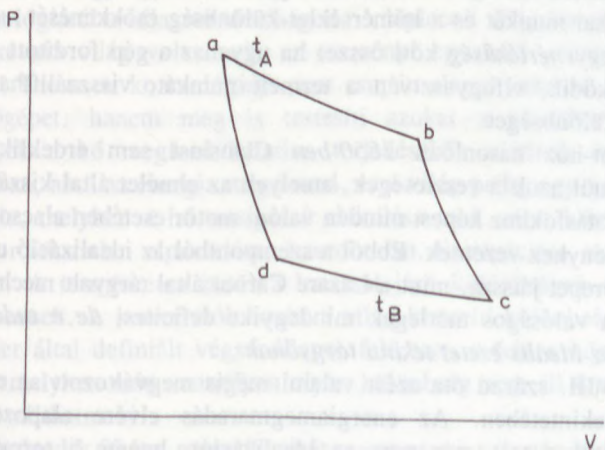
Sadi Carnot annál is könnyebben megtehetette ezt az úttörő cselekedetet, mert — hasonlóan kora tudósainak túlnyomó többségéhez — a hőt valamiféle fluidumnak tekintette, amely az általa kiváltott összes átalakulások során állandó mennyiségben megmarad. Ilyen körülmények közepette két hőforráshoz folyamodni azt jelenti, hogy egyszerűen nem vesszük figyelembe azt a folyamatot, amelyben a kémiai égés során hő keletkezik, éppúgy, ahogy az egyszerű gép megalkotója nem tudja megmondani, honnan jön a szél, az állati erő vagy a folyók vize.

Van tehát két hőforrásunk, amelyek közül az egyik hőt ad át a motornak, a másik pedig — melynek hőmérséklete eltérő — magába szívja ezt a kibocsátott hőt, s a hő *mozgása* a motoron keresztül, a két különböző hőmérsékletű hőforrás között — a tűz mozgatóerejeként — mozgásba hozza a motort, éppúgy, ahogy egy felsőbb szintről az alsóbb szintre aláhulló víz mozgásba tud hozni egy malmot. S Carnot fel is teszi apja kérdését:<sup>120</sup> Melyik gép hatásfoka fogja megközelíteni az eszményit? Melyek a veszteségforrások? Mely folyamatoknak eredménye az, hogy a hő munkavégzés nélkül áramlik? Lazare Carnot válasza a következő volt: ahhoz, hogy egy mechanikai gépnek a lehető legjobb legyen a hatásfoka, szerkezetének és működésének olyannak kell lennie, hogy az ütődések, súrlódások, hirtelen sebességváltozások, vagyis mindazok a hatások, amelyek különböző sebességű testek hirtelen érintkezéséből származnak, a lehető legkisebb mértékben érvényesüljenek. Ez megegyezik kora fizikájának következtetéseivel: csak a folytonos jelenségek konzervatívak, és minden hirtelen mozgásváltozás az „elevenerő” egy részének visszafordíthatatlan elvesztését okozza. Ami az *ideális hőerőgépet* illeti, az nem a különböző *sebességű*, hanem a különböző *hőmérsékletű* testekkel való érintkezést igyekszik elkerülni. A munkaciklus úgy van megtervezve, hogy semmiféle hőmérséklet-változás ne jöjjön létre a két különböző hőmérsékletű test között végbemenő közvetlen hőáramlás eredményeképpen. Mivel az ilyen áramlásnak semmilyen mechanikai hatása — tágulás vagy összehúzódás — nincs, ez a teljesítmény százszázalékos elvesztését jelenti.



Carnot ideális munkaciklusa tehát megvalósítja a paradoxont: teljes hőátadás két különböző hőmérsékletű hőforrás között, miközben semmilyen közvetlen hőáramlás nem történik, és nem érintkeznek eltérő hőmérsékletű testek. A ciklus négy ütemből áll. A rendszer a két *izoterm* fázis mindegyikében érintkezik a két hőforrás egyikével, *s e hőforrás hőmérsékletén marad maga is*. A meleg hőforrással érintkezve hőt szív fel és kitágul; a hideg hőforrással érintkezve hőt veszít és összenyomódik. A két izoterm fázist két olyan szakasz köti össze, amelyek során a rendszer *el van szigetelve* a hőforrásoktól: a rendszerbe nem lép be és belőle nem távozik hő, hőmérséklete azonban hol az összenyomás, hol a tágulás következményeképpen változik. A térfogatváltozás mindaddig tart, amíg a rendszer az egyik hőforrásnak megfelelő hőmérsékletről át nem tér a másiknak megfelelőre (2. ábra).

1850-ben Clausius a Carnot-ciklust az energiamegmaradás új keretén belül fogalmazta meg. Rájött, hogy a két hőforrás szükségessége és az ideális hatásfok Carnot-féle képlete a hőerőgépek sajátos



2. ábra Carnot-féle ciklus, mely két,  $t_A$ -val és  $t_B$ -vel jelölt hőforrás között jön létre. Az *a* és *b* közötti izoterm ütemben a  $t_A$  hőmérsékleten tartott rendszer hőt nyel el és kitágul. *b* és *c* között az elszigetelt rendszer a tágulást folytatva lehűl  $t_B$  hőmérsékletre. Ez a két ütem „mozgást termel”: a rendszer tágulása visszalökhet egy dugattyút. Az *e* és *d* közötti második izoterm szakaszban a rendszer összenyomódik, és hőt ad le a hideg hőforrásnak, melynek hőmérsékletén megmarad. *d* és *a* között az ismét elszigetelt rendszer összenyomódik, mindaddig, amíg hőmérséklete újra el nem éri a meleg hőforrását

problémáját fejezi ki: szükség van egy, a konverziót kiegyenlítő folyamatra (jelen esetben a hideg hőforrással való érintkezéssel elért lehűlésre), mely a motort visszajuttatja eredeti mechanikai és termikus állapotába. Ettől kezdve az energia konverzióját kifejező mérlegviszonyokhoz új egyenértékűségi viszonyokat kell hozzátenni, melyek a két folyamat — a hőforrások közötti *hőáramlás* és a *hő konverziója* munkává — között állnak fenn, s melyeknek hatásai a rendszer fizikai-kémiai állapota szempontjából kiegyenlítik egymást. A termodinamika megszületett.

A Clausius-féle értelmezés igen nagy jelentőségű, és ennek megfelelő a visszhangja is: a természet ugyan kimeríthetetlen energiaforrás, és ez mindenekelőtt hőenergiát jelent, de ezzel az energiával nem rendelkezhetünk tetszésünk szerint. Nem mehet végbe minden olyan folyamat, melyben az energia megmarad. Semmilyen energia-különbség nem alakulhat ki anélkül, hogy egy másik, legalább ugyanakkora értékű különbség meg ne szűnjék. A Carnot-ciklusban a termelt munka olyan hőáramlásból születik, mely *csökkenti* a hőforrások közötti hőmérséklet-különbséget. *Ideális esetben* a termelt mechanikai munkát és a hőmérséklet-különbség csökkenését *megfordítható egyenértékűség* köti össze: ha ugyanaz a gép fordított irányban működik, elfogyasztván a termelt munkát, visszaállíthatja az eredeti különbséget.

Carnot-hoz hasonlóan *1850-ben* Clausiust sem érdeklik még közvetlenül azok a veszteségek, amelyek az elmélet által kiszámított ideális hatásfokhoz képest minden valódi motor esetében alacsonyabb teljesítményhez vezetnek. Ebből a szempontból az idealizáció ugyanazt a szerepet játssza, mint a Lazare Carnot által tárgyalt mechanikai gépek: a valóságos mérlegek mindegyike deficites, *de a tudomány csupán az ideális esetet tekinti tárgyának.*

A XVIII. század óta azért valami mégis megváltozott az eszményítés tekintetében. Az energiamegmaradás elvére alapozott új tudomány ugyanis már nem az idealizációt, hanem a természetet magát kívánja leírni, *beleértve a „veszteségeket” is.* Ebből új probléma származik, s a fizikában hirtelen megjelenik a megfordíthatatlanság: ha most már minden leírható, nem csupán az idealizációk, akkor hogyan írható le az, ami a valóságos gépben történik? Milyen természetűek azok a megfordíthatatlan zavarok, amelyek a teljesítményt csökkentik?

Tehát a Carnot és Clausius által tárgyalt, a megmaradásra és a kiegyenlítődesre épülő technikai kérdés ugyan az ideális motorok leírására vonatkozik, de azért egy új kérdést is felvet: az energia szóródásának kérdését. Ezt a kérdést először William Thomson — valószínűleg azért ő, mert ismerte és tisztelte Fourier munkásságát — lesz képes állítással alakítani, és ő fogalmazza meg a termodinamika második főtételét is.

A hőmotor teljesítményvesztésének okát Carnot valóban éppen *a hő terjedésének egyetemes jelenségében* látta, vagyis a hővezetés közbeni veszteségek magyarázatához — e veszteségek csökkentik a hőmotor hatásfokát — szükség volt Fourier törvényére. A Carnot-ciklus — már nem az ideális ciklus, hanem minden valóságos ciklus — így válik a XIX. században felfedezett két „univerzálénak”, az energia átalakulásának és a hő terjedésének találkozási pontjává, s mivel a hő megfordíthatatlan terjedése ebben az összefüggésben a teljesítményvesztés szinonimája, 1852-től a fogalom a mechanikai energia általános csökkenése irányába mutató irányzatot jelöli.

Thomson így egy merész ugrással túltette magát a motorok tanát a kozmológiától elválasztó távolságon. A Laplace-i világ konzervatív és örökkévaló világ volt, mely az eszményi egyszerű gépet másolta. Mivel Thomson kozmológiája nem csupán alapul veszi az új ideális hőerőgépet, hanem meg is testesíti azokat a következtetéseket, amelyek a hő megfordíthatatlan terjedéséből adódnak egy olyan világban, ahol az energia megmarad, ez a világ pedig egy gépként írható le, melyben a hő mozgássá alakulása csak adott hőmennyiség megfordíthatatlan elpazarlása, haszontalan disszipációja árán mehet végbe. A természetben belül a hatással járó különbségek állandóan csökkennek. A konverziók során a világ kimeríti különbségeit, és a Fourier által definiált végső állapot felé tart, a felé a hőegyensúly felé, amelyben már semmilyen olyan különbség nem áll fenn, amely hatást válthatna ki.

A második főtétel megszületését magyarázva a tisztán tudományos közegre hivatkoztunk: az energiamegmaradásra, a motorok tudományára, a Fourier-törvényre. Az persze teljesen világos, hogy a kulturális közeg szerepe legalább ugyanannyira fontos volt. Két különböző szempontból vizsgálhatjuk ezt a kérdést. Egyrészt, mint ahogy jeleztük, szinte senki nem vitatja, hogy az idő témája a XIX. században egyedülálló jelentőségre tett szert. Úgy látszik, hogy

minden területen ráébredtek az idő lényegi szerepére: a földtani alakzatok, a fajok, a társadalmak, az erkölcs, az ízlés, a nyelvek létrejöttében. Másrészt az is bizton állítható, hogy az a sajátos forma, amelyben az idő megjelenik a fizikában — vagyis mint az egyenmőség és a pusztulás felé haladó folyamat —, igen régi mitikus és vallási archetípusokkal cseng egybe. Ám a korabeli társadalmi és gazdasági átalakulás kulturális következményei is felfedezhetők: a természetbe való technikai behatolás módjának gyors megváltozása, a XIX. században ugrásszerűen meginduló fejlődés nyugtalanságot váltott ki, amelynek nyomait ma is megtalálhatjuk a „korlátozott növekedést” vagy „zéró növekedést” célzó javaslatok sikerében. A készletek kimerülésének és a motorok leállításának kísértete, a megfordíthatatlan hanyatlás gondolata nyilvánvalóan ezt a napjaink világára jellemző aggodalmat tükrözi.

1865-ben Clausius is rászánta magát, hogy átlépje azt a távolságot, mely a technológiát és a kozmológiát elválasztotta egymástól. Ám láthatólag megelégedett azzal, hogy régebbi következtetéseit új nyelven ismételje meg, olyan nyelven, mely az *entrópia* fogalma köré rendeződik. Ez a nyelv világosabban jelenítette meg azt a kérdéskört, amelyből a termodinamika született, vagyis a megmaradás és a megfordíthatóság fogalmainak elválását egymástól: a mechanikai átalakulásokkal szemben, amelyekben a megfordíthatóság és a megmaradás eszménye egybeesik, egy fizikai-kémiai átalakulásban az energia megmaradhat, miközben a folyamat nem megfordítható. Ez történik a sűrűdés esetében, ahol a mozgás hővé alakul, vagy a Fourier által leírt hőterjedés esetében.

Clausius először csupán új formában akarta kifejezni a minden motorikus rendszert meghatározó követelményt: a visszatérést a kiindulási állapotba a befejezett ciklus után, azután, hogy áramlás és hőkonverzió kiegyenlítette egymást. Kényelmesnek látszott e célból bevezetni egy „állapotfüggvényt”, mely csak azon változók (nyomás, térfogat, hőmérséklet, a rendszerben lévő hőmennyiség) értékétől függ, melyek segítségével a rendszer állapota leírható.<sup>121</sup> Valójában már ismerünk ilyen állapotfüggvényt, az energiát, ám az energia-változással magyarázni egy rendszer két állapota közti átmenetet nem elégséges. Túl kell lépni az egyszerű energiamegmaradási elven, és meg kell találni azt a módot, amelyen kifejezhető a különbség a ciklus folyamán bekövetkező konverziót pontosan kiegyenlítő „hasznos”

áramlások, és az elveszett, „disszipációs” áramlások között, melyek a rendszer működésének megfordításával nem vezethetők vissza a meleg hőforráshoz. Ez a szerepe az  $S$  állapotfüggvénynek, az *entrópiának*.<sup>122</sup>

Minden egyes ciklus után, akár ideális az, akár nem, az entrópia — a rendszer állapotfüggvénye — visszanyeri kiindulási értékét. De csak ideális ciklus esetében, nagyon rövid  $dt$  idő alatt lehet a  $dS$  entrópiaváltozást az  $e$  változás és a környezettel lezajló, a változást  $dt$  ideig kiváltó cserefolyamatok egyenértékűségi viszonyával meghatározni. Továbbá a rendszer és környezete közötti cserefolyamatok irányának megváltozása csak ebben az esetben nyilvánul meg az entrópiaváltozás előjelének megfordulásában. A nem-ideális ciklusok esetében  $dS$ -nek csak egy — általunk  $d_e S$ -nek nevezett — része rendelkezik e tulajdonságokkal;  $d_e S$  a környezet és a rendszer közötti entrópia „áramlását”, a rendszernek a környezettel folytatott cserefolyamatok áramlása által meghatározott átalakulásait írja le, melyek ezen áramlások megfordításával érvényteleníthetők. A környezeti cserefolyamatok azonban egyéb, immáron *megfordíthatatlan* átalakulásokat is kiváltanak a rendszer belsejében: éppen azokat, amelyek a Carnot-ciklus hatásfokcsökkenését okozzák, vagyis olyan áramlásokat, amelyek a ciklus működési irányának megfordításával nem vezethetők vissza a meleg hőforráshoz. A  $d_i S$  kifejezés, mely ezeket az átalakulásokat leírja, mindig pozitív vagy nulla; az előjelet a környezeti cserefolyamatok megfordítása nem befolyásolja. A  $dS$  entrópiaváltozás tehát két kifejezés,  $d_e S$  és  $d_i S$  összege. Az előbbi független az idő irányától, mert előjele csupán a környezeti cserefolyamatok irányától függ; az utóbbi az idő múlásával csakis növelheti vagy változatlanul hagyhatja az entrópiát.

Rögtön hívjuk fel a figyelmet az entrópiaváltozás felbontásának egyedülálló jellegére. Az  $E$  energia esetében a helyzet egészen más. Természetesen felírhatnánk, hogy  $dE$  egyenlő két kifejezés összegével, mely kifejezések közül az egyik a cserefolyamatokhoz kötődik, a másik a belső energiatermeléshez, de az energiamegmaradás elve éppen azt fejezi ki, hogy „energiatermelés” nem létezik, hanem csak energiaátvitel történik a tér egyik pontjáról a másikra. Tehát a  $dE$  energiaváltozás csupán  $d_e E$ -vel lesz egyenlő. Másfelől, ha egy nem megmaradó mennyiséget veszünk, például egy tartályban lévő hidrogénmennyiséget, ez a mennyiség hidrogén hozzáadása vagy

kémiai reakciók által kiváltott hidrogéntermelés következtében változhat a tartály belsejében. Ám ebben az esetben a „forrástag” előjele nincs megadva. A körülményektől függően termelhetünk vagy fogyasztunk hidrogént. A második főtétel tartalmának sajátossága abban rejlik, hogy a forrástag *mindig pozitív*. Az entrópiatermelés a rendszer visszafordíthatatlan változását tükrözi.

Már többször felvetettük a „veszteségek” problémáját a mechanikában vagy a hőmotorok tudományában. Arról van szó, hogy amikor a fizikai leírás előnyben részesíti azokat a természeti átalakulásokat, amelyek megfordítható folyamatokként idealizálhatók, egyedül a „veszteségek”, a megfordítható ideál és a teljesen soha meg nem fordítható valóságos átalakulás közötti eltérés emlékeztet bennünket a fizikán belül a természeti változások többségének lényegi megfordíthatatlanságára. A Clausius-féle termodinamika csak a megfordítható átalakulásokat ruházza fel pontos fizikai jelentéssel. Az „entrópiatermeléssel” kapcsolatban csupán azt állítja, hogy fennáll a  $d_i S/dt \geq 0$  egyenlőtlenség. Látszólag semmiféle haladás nem történt, de valójában ez a definíció egymagában lehetővé teszi, hogy túllépjünk a teljesítményveszteségek problematikáján. Ugyanis ha a Carnot-ciklus helyett bármilyen más termodinamikai rendszert veszünk, *mindig különbség tehető entrópiaáramlás és entrópiatermelés között*. Egy elszigetelt rendszerben, amely semmilyen cserét nem folytat környezetével, az entrópiaáramlás értéke a definíció értelmében nulla. Csak entrópiatermelés áll fenn, és a rendszer entrópiája ennek értelmében vagy nő, vagy állandó marad. A megfordíthatatlan átalakulások többé nem mint a megfordítható átalakulások megközelítései fogalmazódnak meg: az entrópia növekedése a rendszer *spontán változását* jelenti. Az entrópia így a folyamat „mércejévé” válik, és egy „időnyíl” létezését jelzi a fizikában: elszigetelt rendszerek esetében a jövő az az irány, amely felé az entrópia növekszik.

De melyik rendszer lehetne jobban elszigetelt, mint az egész Világegyetem? És mit számít, hogy a Világegyetem változása nem fogalmazható meg fizikailag pontosan, ha egyszer Clausius termodinamikája nem a megfordíthatatlan folyamatok meghatározását, hanem csupán létezésük kimondását tűzi ki céljául. 1865-ben Clausius azóta elhíresült formában fogalmazta meg a termodinamika két tételének kozmológiai tartalmát:

„Die Energie der Welt ist konstant. Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.” [A világ energiája állandó. A világ entrópiája maximumra törekszik.]

Még ha lemondunk is a kozmológiai összefüggésről, az az állítás, mely szerint *egy elszigetelt rendszer entrópiája egy maximum eléréséig növekszik*, jóval túllép a termodinamika születéséhez vezető technikai problémán. Az entrópia növekedése már nem szinonimája a veszteségnek, hanem azokhoz a *természeti folyamatokhoz* kapcsolódik, amelyeknek a rendszer ad otthont, s amelyek azt megváltoztathatatlanul az egyensúly felé, olyan állapot felé vezetnek, amelyben az entrópia maximális, és amelyben már semmilyen, entrópiát termelő folyamat nem játszódhat le.

Visszatekintve felmérhetjük Carnot tettének jelentőségét, mellyel megalapította a termodinamikát, és hallgatásra bírta a kemencéket: a „két hőforrás” segítségével elválasztotta azt, ami a motorban lényegileg megfordíthatatlan, vagyis a mozgást termelő égési folyamatot attól, ami idealizálható és visszavezethető megfordítható átalakulásokra.

A megfordítható átalakulások a klasszikus tudomány illetékességi körébe tartoznak abban az értelemben, hogy egy rendszer befolyásolásának, ellenőrzésének lehetőségét fogalmazzák meg. A dinamikai objektumot kezdeti feltételei révén lehetett befolyásolni; a rendszer megfelelő előkészítése olyan változást indít el, amely ilyen vagy olyan előre meghatározott állapotba juttatja. A termodinamikai objektum, ha megfordítható folyamatok kereteiben határozzuk meg, peremfeltételei révén ellenőrizhető: egy termodinamikai egyensúlyban lévő rendszer, melynek *nagyon* fokozatosan változtatjuk akár hőmérsékletét, akár térfogatát vagy nyomását, egyensúlyi állapotok sorozatán halad át, és a befolyásolás megfordítása ideális esetben kiváltja az eredeti állapotba való visszatérést. A változás megfordítható jellege és a peremfeltételek révén való ellenőrzés lehetősége teljes mértékben összefügg egymással. Ebben a keretben a megfordíthatatlanság negatív módon van meghatározva, csupán olyan „ellenőrizetlen” változásként jelenik meg, amely mindig megtörténik akkor, amikor a rendszer kikerül az ellenőrzés alól. De ez a nézőpont meg is fordítható: a teljesítményt csökkentő megfordíthatatlan folyamatokban láthatjuk az anyag spontán és lényegi *aktivitásának* utolsó nyomait is, olyan helyzetben, amelyben a befolyásolására tett kísér-

letek sikerrel jártak. Az ideális határfok és a valóságos teljesítmény közti távolság ekkor negatív módon fejezi ki azt a tulajdonságot, amely a klasszikus dinamikai rendszereket lényegileg megkülönbözteti a termodinamikaiaktól: a termodinamikai objektum, *ellentétben a dinamikai objektummal*, soha nem ellenőrizhető teljesen. Megtörténhet, hogy spontán változás formájában „megszökik”, *számára ugyanis a változások nem egyenértékűek.*

A  $dS = d_e S + d_i S$  összefüggés tehát azt jelenti, hogy az egyensúly felé tartó spontán változás *más természetű*, mint a preemfeltételek (mint például a környezeti hőmérséklet) módosulásától meghatározott és ellenőrzött változás. Egy elszigetelt rendszerben az egyensúly igazi „vonzóerőként” jelenik meg a nem-egyensúlyi állapotok számára, és előbbi kijelentésünket úgy általánosíthatjuk, hogy egy vonzó állapot felé történő változás minden más változástól különbözik, különösen attól, amely egy vonzó állapottól egy másik vonzó állapot felé tart, amikor a rendszer változásra kényszerül.

Max Planck világosan kiemelte a különbséget e két természeti változás között, továbbá hangsúlyozta az e különbségben megnyilvánuló bizonyos állapotok szinguláris jellegét is. Úgy lászik, írja Planck, a természet bizonyos állapotokat „előnyben részesít”; a  $d_i S/dt$ , az entrópia megfordíthatatlan növekedése a rendszer közeledését írja le egy olyan állapothoz, mely őt „vonzza”, melyet előnyben részesít és melytől nem távolodik el spontán módon: a közeledés megfordíthatatlan. „E nézőpontból tekintve nem létezhet tehát olyan folyamat, melynek végállapota kevésbé lenne vonzó a természet számára, mint a kiindulási állapot. A megfordítható változások határesetek, melyekben a természet ugyanolyan mértékben vonzódik a kiindulási állapot, mint a végállapot felé; ezért az átmenet egyikből a másikba mindkét irányban lehetséges.”<sup>123</sup>

Mennyire különbözik ez a nyelvezet a dinamikáétól! Ott a rendszer egyszer s mindenkorra adott pályán mozog, és örökre megőrzi kiindulópontjának emlékét (mert a kezdeti feltételek a pályát egyszer s mindenkorra meghatározzák). Itt viszont az *összes* nem-egyensúlyi állapotban lévő rendszer ugyanazon *egyensúlyi* állapot felé változik. Elérkezvén az egyensúlyhoz, a rendszer *elfelejti* kezdeti feltételeit, azt a módot, ahogyan előkészítették. Csupán a „vonzási medence” számít: minden olyan rendszer, melynek egy állapota ehhez a medencéhez tartozik, e felé a végállapot felé tart, melyet ugyanaz a visel-



kedés, a tulajdonságok ugyanazon együttese jellemez. Ilyen jellemző tulajdonság a fajhő vagy az egyensúlyban lévő rendszer összennyomhatósága, és függetlenek attól a módtól, ahogyan a rendszert előkészítettük. (Ez egyébként szerencsés körülmény, mert rendkívüli módon leegyszerűsíti, sőt, végeredményben lehetővé teszi az anyag fizikai állapotainak vizsgálatát. Ahhoz ugyanis, hogy fajhőről vagy összennyomhatóságról beszélhessünk, olyan rendszerek kellenek, melyek hatalmas számú részecskéből tevődnek össze.<sup>124</sup> Dinamikai szempontból gyakorlatilag kizárt, hogy egy állapot újra keletkezzék, hiszen azok a dinamikai állapotok és viselkedések, amelyek egy  $10^{23}$  számú részecskét tartalmazó rendszerben megvalósulhatnak, végtelesen változatosak lehetnek.)

Két alapvetően különböző leírást kaptunk tehát: a mozgó tömegek világára vonatkozó dinamikát és a bonyolultság tudományának alapjául szolgáló termodinamikát. E kettősség láttán azonban óhatatlanul felvetődik a kérdés: Hogyan illeszthető egymáshoz a két leírás? Ez a kérdés a termodinamika törvényeinek megfogalmazása óta szüntelenül vita tárgya.

#### 4. A Boltzmann-féle rendezettségi elv

Mint fentebb láttuk, a vonzó állapot és a mozgás törvénye közti szembenállás felveti a két leírás egymáshoz való illeszkedésének és az egyikből a másikba való átmenet lehetőségének problémáját.<sup>125</sup>

A XIX. század végén az utóbbi kérdésre a kutatók többsége negatív választ adott: a termodinamika két főtétele, mint új alaptörvény, egy új tudomány alapjait vetette meg, amelyet lehetetlen volt visszavezetni a hagyományos fizikára, axiómaként kellett elfogadni az energia minőségi sokféleségét és degradálódási tendenciáját. Legalábbis ezt a tételt szegezték szembe az „energetisták” az „atomistákkal”. Az utóbbiak ugyanis nem voltak hajlandók lemondani arról, amit ők a fizika fő céljának tartottak: visszavezetni a természeti jelenségek bonyolultságát az elemi mozgásformák egyszerűségére.

Valójában a mikroszkopikus és makroszkopikus szint közötti átmenet kérdése — mint látni fogjuk — rendkívül termékeny lesz a fizika egész fejlődése szempontjából. Boltzmann volt az első, aki ezt a kihívást felvállalta: azon a véleményen volt, hogy ha a mozgáspályák

fizikáját ki akarjuk terjeszteni a termodinamika által leírt helyzetekre, akkor új fizikai fogalmakra van szükségünk. Maxwell nyomán ezt a fogalmi megújulást Boltzmann a valószínűség fogalmában kereste.

Az, hogy egy összetett jelenség magyarázatában segéd szerepet kapjon a valószínűség, önmagában még nem volt újdonság. Mellesleg Maxwell minden jel szerint Quételet munkásságából merített, aki a szociológiában feltalálta az „átlagembert”. Az újítás az volt, hogy a valószínűség a fizikában ne a megközelítés eszközeként, hanem magyarázóelvként kapjon szerepet, valamint az, hogy láthatóvá váljon, egy nagyszámú sokaságból álló rendszer milyen új viselkedésformákat tud elsajátítani (lásd a 159. jegyzetet).

Nézzünk egy egyszerű példát a valószínűség fogalmának fizikai alkalmazására! Egy két egyenlő rekeszre osztott dobozban  $N$  részecskéből álló sokaság található. Szeretnénk ismerni a részecskék különböző lehetséges eloszlásainak valószínűségét a két rekeszben, azaz annak valószínűségét, hogy az első rekeszben  $N_1$  számú részecskét találunk (és  $N_2 = N - N_1$  számút a másodikban).

A kombinatorikus elemzés lehetővé teszi, hogy kiszámítsuk, hányféleképpen lehetséges megvalósítani  $N$  számú részecske különböző eloszlásait. Így, ha  $N = 8$ , akkor csak egyféleképpen lehet a nyolc részecskét az egyik rekeszbe tenni; ellenben annak már nyolc módja van, hogy egy részecske jusson az egyik rekeszbe, és hét a másikba; a nyolc részecske egyenlő elosztását a két rekesz között pedig  $8!/4!4! = 70$  módon lehet megvalósítani (ahol  $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-1) \cdot n$ ). Hasonlóképp, bármilyen  $N$  esetén meg lehet határozni  $P$ -t, a *komplexiók azon számát*, mely megadja, hogy hány módon lehetséges megvalósítani egy adott  $N_1, N_2$  eloszlást;  $P(N_1, N_2) = N!/N_1!N_2!$ .

Adott sokaság esetében a komplexiók száma annál magasabb, minél kisebb a különbség  $N_1$  és  $N_2$  között: maximumot ér el, ha a sokaság egyenlően oszlik el a két rekesz között. Megjegyzendő, hogy minél nagyobb  $N$ , annál nagyobb a különbség is a különböző eloszlási módoknak megfelelő komplexiószámok között. A makroszkopikus rendszerek  $10^{23}$  nagyságrendű  $N$ -je esetében a lehetséges eloszlások túlnyomó többsége az  $N_1 = N_2 = N/2$  eloszlást valósítja meg. A nagyszámú részecskéből álló rendszerek esetében tehát minden olyan állapotot, mely eltér az egyenlő eloszlástól, igen valószínűtlennek nevezhetünk.

Boltzmann volt az, aki elsőként észrevette, hogy az entrópia megfordíthatatlan növekedését úgy is felfoghatjuk, mint a molekuláris rendezetlenség növekedésének kifejeződését, mint minden kezdeti szimmetriahiány fokozatos elfelejtődését, ugyanis minden aszimmetria valószínűtlen a komplexiók maximális számának megfelelő állapothoz képest. Boltzmann gondolata tehát az volt, hogy az entrópiát lényegileg azonosította a komplexiók számával: az entrópia minden egyes makroszkopikus állapotot azzal a számmal jellemez, amely megmondja, hányféleképpen lehetséges ezt az állapotot<sup>126</sup> megvalósítani:  $S = k \ln P$ . A  $k$  arányossági tényező egyetemes állandó, mely a Boltzmann-állandó nevet kapta.

Boltzmann fontos képlete a megfordíthatatlan termodinamikai folyamatot növekvő valószínűségű állapotok felé tartó változássá alakítja, a vonzó állapotot pedig azzá a makroszkopikus állapottá, amelyet csaknem minden olyan mikroszkopikus állapot megvalósít, amelyet a rendszer felvehet. Most már nagyon messze jutottunk Newtontól. Először történt meg, hogy egy fizikai fogalmat a valószínűség terminusaiban magyaráztak. Igaz, hogy a magyarázat státusa meglehetősen kérdéses, de termékenysége máris szembetűnő. A valószínűség elegendő hozzá, hogy megmagyarázza minden kezdeti aszimmetria, minden különös eloszlás (például a rendszer egyik résztartományában összegyűlt részecskék halmaza, vagy a két különböző hőmérsékletű gáz keveredéséből származó sebesség-eloszlás) elfelejtődését. Ez az elfelejtődés abból a tényből fakad, hogy *bármilyen is a rendszer változása*, a rendszer végül is eljut az egyik olyan mikroszkopikus állapotba, amely megfelel a maximális rendezetlenség és szimmetria makroszkopikus állapotának. S valóban, a lehetséges mikroszkopikus állapotok túlnyomó többsége megvalósítja ezt az állapotot. Ha már ebbe az állapotba jutott, akkor ugyanebből az okból a rendszer már csak nagyon kis időre és távolságra fog eltávolodni tőle: szüntelenül a vonzó állapot körül fog *ingadozni*.

A Boltzmann-féle rendezettségi elv folyománya, hogy egy rendszer számára elérhető legvalószínűbb állapot az, amelyben az e rendszerben egyidejűleg történő nagyszámú esemény *statisztikailag kiegyenlíti* egymás hatásait. A kiinduló példával élve, bármilyen is a kezdeti eloszlás, a rendszer változása végül  $N_1 = N_2$  egyenlő eloszláshoz vezet. Ez az állapot véget vet a rendszer megfordíthatatlan

makroszkopikus változásának: igaz, a részecskék továbbra is mozogni fognak a két rekesz között, de mivel minden egyes pillanatban átlagosan *ugyanannyi tart mindkét irányba*, mozgásuk csakis elkerülhetetlen, folyamatos *ingadozásokban* nyilvánulhat meg, amelyek azonban kicsinyek és gyorsan csökkennek  $N_1 = N_2$  körül. A Boltzmann-féle valószínűségi értelmezés tehát lehetővé teszi, hogy megértsük azoknak a vonzó állapotoknak a rendkívüliségét, amelyeket az egyensúlyi állapotokkal foglalkozó termodinamika tanulmányoz.

Egy elszigetelt rendszer esetét tárgyaltuk: a peremfeltételek nemcsak a részecskék számát, hanem a rendszer teljes energiáját is meghatározzák. Boltzmann gondolatmenete mindazokra a zárt és nyitott rendszerekre is általánosítható volt, amelyekben az egyensúlyi állapot beállhat. Olyan zárt rendszer esetében, melyet a környezettel folytatott hőcsere változatlan  $T$  hőmérsékleten tart, az egyensúly nem az entrópia maximumával, hanem egy hasonló függvény, a szabadenergia minimumával határozható meg:  $F = E - TS$ , ahol  $E$  a rendszer energiája.

E képlet struktúrájában az a tény nyilvánul meg, hogy az egyensúly itt az energetikai és az entropikus tényezők versenyéből születik meg. A hőmérséklettől függ, hogy melyik tényező milyen súllyal esik latba: alacsony hőmérsékleten az energia a meghatározó. Ekkor *alacsony energiájú rendezett struktúrák* jönnek létre (gyenge entrópia), olyanok, mint a kristályok. Az ilyen struktúrákban minden egyes atom, minden egyes molekula kölcsönhatásban van a szomszédjával, és a kinetikai energiák elég jelentéktelenek ahhoz, hogy ezek az kölcsönhatási erők a részecskéket gyakorlatilag mozdulatlanul tartsák. Magas hőmérsékleten viszont az entrópia és így a molekuláris rendezetlenség a meghatározó. Így érkezünk el a folyékony, majd a gáz halmazállapothoz.

Az  $S$  entrópia elszigetelt rendszer esetében, az  $F$  szabadenergia egy állandó  $T$  hőmérsékletű rendszer esetében — példák ezek a „termodinamikai potenciálra”. Egy termodinamikai potenciál szélsőértéke meghatározza azt a vonzó állapotot, amely felé minden olyan rendszer spontán módon tart, amelynek peremfeltételei megfelelnek e potenciál definíciójának.

Végül jegyezzük meg, hogy a Boltzmann-féle rendezettségi elv ily módon lehetővé teszi, hogy megjósoljuk *rendezett* fizikai struktúrák kialakulását, valamint azt, hogy leírjuk a fázisok együttes létezését egy egyensúlyban lévő rendszeren belül, így például az egyensúlyt

egy anyag kristályos formája és oldata között. Fontos megjegyezni, hogy az egyensúlyi struktúrák molekuláris szinten meghatározott struktúrák. A molekulák közötti körülbelül  $10^{-8}$  cm (ångström) nagyságrendű hatótávolságú kölcsönhatások azok, amelyek stabilizálják és makroszkopikus tulajdonságokkal ruházzák fel a kristályszerkezetet. A kristályméret maga nem a struktúra lényegi tulajdonsága, csupán annak az anyagmennyiségnek a megnyilvánulása, amely egyensúlyi állapotban a kristályfázisba jut.

Az egyensúlyok termodinamikája kielégítő választ ad irdatlan számú fizikai-kémiai jelenség esetében. Ám a válasz legalább két szempontból nem teljes.

Egyfelől, ha elfogadtuk is, hogy az egyensúly statisztikai fogalom, és adott peremfeltételek mellett megfelel a maximális valószínűségi állapotnak, még nem tudjuk, hogyan igazoljuk a valószínűség alkalmazását, hiszen fogalomként idegen a dinamikai leírástól és a determinisztikus mozgáspályáktól. Másfelől felvethető — s ezt fogjuk most szemügyre venni —, hogy az egyensúlyi struktúrákkal vajon kielégítően értelmezhetőek-e a természetben előforduló legkülönbözőbb strukturálódási jelenségek. Erre a kérdésre csakis tagadó választ adhatunk.

Az egyensúlyi struktúrák az elemi összetevők sokasága által kifejtett aktivitás statisztikai kiegyenlítődéseiből születnek meg. Nincs tehát makroszkopikus szintű aktivitásuk, átfogó szinten tehetetlenek. Bizonyos értelemben „halhatatlanok” is. Ha már létrejöttek, elszigetelhetők, és a végtelenségig fennmaradhatnak anélkül, hogy szükségük lenne a környezettel folytatott bármilyen csereaktusra. Márpedig, akár egy sejtet, akár egy várost vizsgálunk, ugyanaz a következtetés adódik: ezek a rendszerek nemcsak nyíltak, hanem éppen nyíltságukból élnek, abból az anyag- és energiaáramlásból táplálkoznak, amelyet a külső világból kapnak. Kizárható, hogy egy város vagy egy élő sejt a belépő és kilépő áramlás közepette a kölcsönös kiegyenlítődéssel, az egyensúly irányába változna. Ha akarjuk, elszigetelhetünk egy kristályt, a környezetétől elszakított város vagy sejt azonban hamar elhal; teljes részei az őket tápláló világnak, egyfajta helyi és egyedi megtestesülései azoknak az áramlásoknak, amelyeket maguk szüntelenül átalakítanak.

S nemcsak az élő természet idegen alapvetően az egyensúlyi termodinamika modelljeitől. A hidrodinamika, az áramlások és örvénylések

tudománya, a meteorológia, a légtömegeknek az anyag- és hőáramlásoktól függő instabil szerveződését vizsgáló tudomány az élettelen természetet úgy írja le, mint a természetet tevékenyként és szervezett-ként megalkotó szakadatlan áramlások színterét.

Nemigen látjuk, hogyan lehetne a Boltzmann-féle rendezettségi elvet ilyen helyzetekre alkalmazni. A komplexiók segítségével megérthető, hogy egy rendszer az idő múlásával egységesül — az egységes állapotban, amikor a peremfeltételek által létrehozott „különbségek” elfelejtődtek, lesz a komplexiók száma a legnagyobb. De a konvekciós hőmozgás spontán létrejöttét lehetetlen ebből a szempontból megérteni, hiszen a konvekciós áramlás összetartozást, hatalmas számú molekula együttműködését igényli, s ez olyan kivételes állapot, amelynek csak viszonylag kis számú komplexió felelhet meg. S ha a konvekció „csodaszámba” megy, akkor *a fortiori* igaz ez az életre is.

Végő soron még az egyensúlyra épülő modellek érvényességének kérdése is megfordítható. Abból a célból, hogy egyensúlyban lévő rendszert kapjunk, meg kell védenünk a természetet alkotó áramlásoktól, „be kell dobozolni” vagy palackba zárni, mint azt a törékeny és mesterségesen létrehozott emberkét, aki Goethe *Faustjának* második részében azt mondja alkotójának, az alkímistának: „Jöjj és öleld meg szíved magzatát! De csak vigyázva, szét ne törd üvegcsém. A dolgokat így jellemezném: szűk a mindenség a természetesnek, a művi dolgok zárt teret keresnek.”<sup>127</sup> Az általunk ismert világban az egyensúly ritka és ingatag állapot, az egyensúly felé tartó változás pedig olyan világot feltételez, amely elég messze esik a Naptól ahhoz, hogy egy részrendszer elszigetelése elképzelhető legyen benne (a Nap hőmérsékletén nem létezhet semiféle „doboz”), de amelyben az egyensúly hiánya a meghatározó: világunk „langyos” világ.

A fizikusok mégis sokáig azt hitték, hogy a kristályok tehetetlen rendezettsége fizikai értelemben az egyetlen megjósolható és megismételhető rendezettség, a rendezetlenség és tehetetlenség felé tartó változás pedig az egyetlen olyan változási folyamat, amely a fizika alaptörvényeiből levezethető. Így a termodinamikai leírások alapján megkísérelt előrejelzések ritka és megjósolhatatlan változásként határozzák meg a biológiai tudományok, a társadalom- és kultúr-tudományok által feltárt jellegzetes változásokat: a növekvő bonyolultságot, az újítások felerősödését. Példának okáért, hogyan lehetne

összeegyeztetni a darwini fejlődést, a ritka események statisztikai szelekcióját minden különleges jellegű, ritka konfiguráció Boltzmann által leírt statisztikai *eltűnésével*? „Carnot-nak és Darwinnak egyidejűleg lenne igaza?” — teszi fel joggal a kérdést Roger Caillois.<sup>128</sup>

Az egyensúlyi termodinamika az első válasz, amelyet a fizika a természeti bonyolultság problémájára adott. Ez a válasz az energia disszipációját, a kezdeti feltételek elfelejtődését, a rendezetlenség felé mutató változást tartalmazza. Míg a dinamika, az örök és megfordítható mozgáspályák tudománya nem felelt meg a XIX. század problémáinak, az egyensúlyi termodinamika — legalábbis ami az időt illeti — képesnek bizonyult saját nézőpontot szembeszegezni a többi tudomány nézőpontjával. S ez a nézőpont a romlás és a pusztulás nézőpontja. Már Diderot feltette a kérdést: „Mi a helyünk nekünk, érző és szervezett lényeknek, a dinamika tehetetlen és alávetett világában?” Kultúránkat egy évszázada a következő új kérdés osztja meg: Mi a helye az élőlények, társadalmaik, fajaik változásának a termodinamika növekvő rendezetlenséggel jellemzett világában? Mi a kapcsolat az egyensúly felé való közeledés termodinamikai ideje és a bonyolult változás ideje között, melyről Bergson azt mondta, hogy az „vagy feltalálás, vagy egyáltalán semmi”?

## V. A termodinamika három lépcsőfoka

### 1. Fluxusok és erők

Nézzük meg újra<sup>129</sup> a második főtétel megfogalmazását. A termodinamikai rendszerek változásának leírásához van egy függvényünk, az entrópia, amelynek változása két tag összegeként írható fel: e két tag egyrészt a rendszer és a külvilág közti cserefolyamatokhoz, áramlásokhoz kapcsolódó  $d_e S$ , másrészt a megfordíthatatlan jelenségekhez kötődő produkciós tag,  $d_i S$ , melynek előjele mindig pozitív, kivéve a termodinamikai egyensúlyt, ahol nulla lesz. Az elszigetelt rendszerek esetében ( $d_e S \equiv 0$ ) ez az állapot megfelel az entrópia maximális értékének. A második főtétel fizikai jelentésének megértése érdekében közelebbről meg kell vizsgálnunk a különböző irreverzibilis jelenségeket (a hő, de az anyag diffúzióját is, kémiai reakciókat stb.), és meg kell néznünk, hogyan kapcsolódnak a  $P = d_i S/dt$  entrópiatermeléshez. Különösen fontos lesz számunkra a megfordíthatatlan folyamatok azon osztálya, amelyet a kémiai reakciók alkotnak. A kémiai folyamatok alapvető szerepet játszanak a biológiában. Az élő sejt szüntelen anyagcsere-folyamat színtere: több ezer kémiai reakció zajlik benne egyidejűleg, melyek átalakítják az anyagot, amelyből a sejt táplálkozik, szintetizálják összetevőit, és eltávolítják a hasznosíthatatlan termékeket. Ez a kémiai tevékenység magasfokúan szervezett mind a különböző reakciósebességek egyeztetése, mind a reakciók sejtbeli lokalizációja szempontjából. A biológiai struktúra így egyesíti a rendezettséget és az aktivitást, tökéletes ellentétben az egyensúlyi állapotokkal, melyek — ha rendezettek is, de — tehetetlenek. A kémiai folyamatokból tehát megkaphatjuk annak a különbségnek a kulcsát, amely egy kristály és egy sejt viselkedése között jelentkezik.



A kémiai reakciókat kettős, kinetikai és termodinamikai nézőpontból fogjuk szemügyre venni.

Kinetikai szempontból az alapvető mennyiség a reakció *sebessége*. A kémiai kinetika klasszikus elmélete abból a hipotézisből indul ki, hogy egy kémiai reakció sebessége arányos a benne részt vevő anyagok koncentrációjával. Kémiai reakció lényegében molekulák közötti ütközések hatására jön létre, s természetesnek látszik elfogadni, hogy az ütközések száma arányos a reakcióba lépő molekulák koncentrációinak szorzatával.

Első példaként válasszuk  $A + X \rightarrow B + Y$  egyszerű reakciót! Ez a képlet (reakcióséma) azt jelenti, hogy amikor egy  $A$  molekula egy  $X$  molekulával találkozik, van bizonyos valószínűsége annak, hogy olyan reakció következik be, amelyből egy  $B$  molekula és egy  $Y$  molekula keletkezik. Azt az ütközést, amely a molekulák természetének illetően módosulását okozza, „reaktív ütközésnek” nevezzük. Az ütközéseknek általában csak egészen kis töredéke (például  $1/10^6$ ) reaktív ütközés: az esetek többségében a molekulák megtartják azonosságukat, és csak energiacsere történik.

A kémiai kinetika a reakcióban részt vevő különböző anyagok koncentrációjának változását tanulmányozza. Ez a kinetika differenciálegyenletekkel írható le, éppúgy, mint ahogy a mozgás a newtoni egyenletekkel. De ezúttal nem gyorsulásokat számolunk, hanem koncentrációk változásának sebességeit, és ezekből a sebességekből alkotjuk meg a reakcióba lépő anyagok koncentrációfüggvényeit. Így  $X$  koncentrációjának  $dX/dt$  változási sebessége arányos az oldatban lévő  $A$  és  $X$  koncentrációinak szorzatával:  $dX/dt = -kAX$ , ahol  $k$  arányossági tényező, mely olyan mennyiségektől függ, mint a hőmérséklet vagy a nyomás, és azon ütközések arányát mutatja, amelyek reakcióképesek, s az  $A + X \rightarrow Y + B$  reakcióhoz vezetnek. A példaként vett esetben mindannyiszor, amikor egy  $X$  molekula eltűnik, egy  $A$  molekula is eltűnik, és megjelenik egy-egy  $B$ , illetve  $Y$  molekula; a koncentrációváltozások sebessége tehát azonos:  $dX/dt = dA/dt = -dY/dt = -dB/dt$ .

De ha egy  $X$ , illetve  $A$  molekula ütközése kémiai reakcióhoz vezethet, akkor egy-egy  $Y$  és  $B$  molekula ütközése fordított reakciót válthat ki. Azaz a leírt rendszerben megvalósul egy második reakció:  $Y + B \rightarrow X + A$ , mely meghatározza  $X$  koncentrációjának változását,  $dX/dt = k'YB$ . Egy vegyi anyag teljes koncentrációváltozása az

oda- és visszairányuló reakciók mérlegétől függ. Példánkban  $dx/dt$  ( $= -dY/dt = \dots$ )  $= -kAX + k'YB$ .

Egy olyan rendszer, melyben kémiai reakciók játszódnak le, magára hagyva a kémiai egyensúly állapota felé tart. A kémiai egyensúly a vonzó állapot iskolapéldája: bármilyen is a rendszer vegyi összetétele a kiinduláskor, az spontán módon eljut abba a végső állapotba, amelynek kémiai összetételét olyan törvény szabja meg, mely csupán a reagensek természetétől és termodinamikai tényezőktől — hőmérséklet, nyomás — függ. A kémiai egyensúly akkor áll be, amikor az oda- és visszairányuló reakciók statisztikailag kiegyenlítik egymást, oly módon, hogy a koncentrációk többé nem változnak ( $dX/dt = 0$ ). Ebből következik, hogy az egyensúlyi koncentrációk viszonyát a  $AX/YB = k'/k = K$  egyenlőség adja meg, amelyet a „tömeghatás törvényének” vagy Guldberg-Waage-törvénynek nevezünk;  $K$  az „egyensúlyi állandó”. A tömeghatástörvény által meghatározott koncentrációs viszony megfelel a kémiai egyensúlynak, mint ahogy a hőmérsékleti azonosság (elszigetelt rendszer esetében) megfelel a termikus egyensúlynak. Mindezen állapotokban az entrópiatermelés, melyet a kémiai átalakulások, illetve a hőterjedés szab meg, nullával lesz egyenlő.

Mielőtt megvitátnánk a kémiai reakciók termodinamikai leírását, szenteljünk néhány pillanatot a kinetikai leírás egyik utolsó vonásának. A kémiai reakciók sebességét nemcsak a reagensek koncentrációja és egyéb termodinamikai tényezők (nyomás, hőmérséklet stb.) befolyásolják, hanem gyakran olyan kémiai anyagok jelenléte is a rendszeren belül, amelyek ugyan nem alakulnak át a reakció során, de módosítják a reakció sebességét. Az ilyen anyagokat nevezzük „katalizátornak”. A katalizátorok például módosíthatják a  $k$  vagy  $k'$  kinetikai állandók értékét, vagy akár lehetővé tehetik, hogy a rendszer új „reakcióútra” lépjen. A biológiában a proteinek, különösen az „enzimek” játsszák ezt a szerepet. Ezeknek a makromolekuláknak olyan a térbeli elhelyezkedésük, hogy képesek felgyorsítani bizonyos reakciókat, általában egyetlenegy: van egy olyan „kötőhelyük”, melyhez az adott reakcióban részt vevő különböző molekulák képesek hozzákötődni, ami növeli annak valószínűségét, hogy találkoznak és reakcióba lépnek egymással.

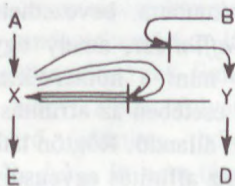
Igen fontos katalízistípus az — éppen a biológiában —, amelyben egy anyag jelenléte szükséges saját szintéziséhez:  $X$  molekula létre-

jöttéhez a kiindulási rendszernek már tartalmaznia kell  $X$ -et. Nagyon gyakran például  $X$  molekula egy enzimet *aktivál*, az enzimekre tapadva stabilizálja azt a konformációt, amelyben a kötőhely elérhető. Íme egy reakciósema, mely ezt a helyzetet írja le:  $A + 2X \rightarrow 3X$ . Az autokatalízis jelenségéről van szó, melyet a reakcióhurokkal szemléltethetünk:



Az ilyen „reakcióhurokokat” tartalmazó rendszerek egyik fontos tulajdonsága, hogy a változásukat leíró kinetikai egyenletek többnyire *nemlineáris* differenciálegyenletek. A fentiekhez hasonlóan eljárva, az  $A + 2X \rightarrow 3X$  reakció esetén a  $dX/dt = kAX^2$  kinetikai egyenletet kapjuk, melyben  $X$  koncentrációjának változási sebessége  $e$  koncentráció négyzetével arányos.

Említsük meg a kölcsönös katalízis biológiailag igen fontos esetét is! Például:  $2X + Y \rightarrow 3X$ ,  $B + X \rightarrow Y + D$ , amit a 3. ábrán látható hurokkal szemléltethetünk. A katalízis kölcsönös, mert  $X$   $Y$ -ből keletkezik,  $Y$  pedig  $X$ -ből.



3. ábra Ez a séma a „brüsszelátor” rendszer reakcióinak teljes együttesét szemlélteti. A rendszerről e fejezet 5. szakaszában még szó esik

A „nemlineáris” reakciókat, katalizáló vagy gátló hurkokat tartalmazó kémiai kinetikákat leíró nemlineáris differenciálegyenletek matematikai szingularitásainak döntő fontossága van — erre még vissza fogunk térni — az egyensúlyi állapottól távoli kémiai folyamatok termodinamikájában. S ahogy már mondtuk, ezek a visszacsatolási hurkok lényeges szerepet játszanak a molekuláris biológia által kutatott anyagcsere-működésben is, mert egy-egy reakciótermék esetében lehetővé teszik, hogy az „visszahasson” annak a reakciónak a sebességére, amelyből származik.

A kémiai reakciók sebességei mellett más irreverzibilis folyamatok — mint például a hővezetés, az anyag diffúziója stb. — sebessége is meghatározható. A irreverzibilis folyamat sebességének jelölésére a  $J$  betűvel jelzett „fluxus” kifejezés használatos. A reakciósebességhez hasonlóan, a többi *termodinamikai fluxus* is *fenomenológiai* mennyiség: nem vezethetők le egy általános elméletből, hanem az egyes irreverzibilis folyamatok vizsgálatából származnak. A irreverzibilis folyamatok termodinamikája bevezet egy második mennyiséget is: az általánosított sebességeken, azaz  $J$  fluxusokon kívül meghatározza az „általánosított erőket” —  $X$ -eket — is, melyek e fluxusok „okai”. Meg fogjuk látni, hogy fluxus és erő lehetővé teszik az entrópiatermelés,  $P = d_i S/dt$  kiszámítását. A legegyszerűbb példa erre a hővezetés. Fourier törvénye értelmében a  $J$  hőáramlás arányos a hőmérséklet gradiensevel; ezt a hőgradienst azonosítjuk a hőáramlást meghatározó „erővel”. Termikus egyensúly esetén a definíciónak megfelelően fluxus és erő egyidejűleg eltűnik.

Némileg hasonlóan határozhatjuk meg a kémiai reakciónak megfelelő általánosított erőt is. Nézzük meg újra az  $A + X \rightarrow Y + B$  reakciót! Láttuk, hogy egyensúlyi állapotban a koncentrációk viszonyát a tömeghatás törvénye szabja meg. Mint ahogy elsőként Théophile De Donder kimutatta, bevezethetünk általános formában egy „kémiai erőt”, az *affinitást*, amely ugyanúgy meghatározza a kémiai reakció irányát, mint a hőmérséklet-gradiens a hőáramlás irányát. A mi reakciónk esetében az affinitás arányos  $\log(K AX/BY)$ -nal, ahol  $K$  az egyensúlyi állandó. Rögtön látható, hogy a tömeghatás törvényének értelmében az affinitás egyensúly esetén nulla. Abszolút értéke annál magasabb, minél távolabb van a rendszer az egyensúlytól, vagyis minél nagyobb a különbség a koncentrációknak a rendszerben megvalósuló viszonya és a tömeghatás törvénye által meghatározott viszony között. Végeredményben az affinitás a rendszer távolságát méri az egyensúlytól, és előjele meghatározza azoknak a vegyi reakcióknak az irányát, amelyek a rendszert az egyensúly, a „vonzó” állapot felé vezethetik.

Az affinitás a vonzó állapotok — más szóval a természet „preferenciái”, a megfordíthatatlanságban megnyilvánuló legyőzhetetlen tendenciái — újkeletű nyelvén újrafogalmazza azt a régebbi vegyrokonságot, amellyel a kémikusok a kémiai anyagok közötti elektív viszonyokat, a molekuláris „szeretetet” és „gyűlöletet” magyarázták.

Valójában teljesen soha nem merült feledésbe az a gondolat, mely szerint a kémiai aktivitás nem vezethető vissza a dinamika törvényeinek háborítatlan érvényesülésére. Nietzsche például azt állította, hogy utálatos dolog „kémiai törvényekről” beszélni, mintha a kémiai anyagok az erkölcsi törvényekhez hasonló törvényeknek engedelmeskednének. A kémiában — vetette ellen — nincs önkéntes alávetettség, minden egyes test azt teszi, amire képes; nem az erők előtti meghajlásról, hanem összecsapásukról, az erősebbnek a gyengébb fölötti kérlelhetetlen uralmáról kell beszélni.<sup>130</sup> Így tehát a termodinamika, amely a kémiai egyensúlyt nulla affinitás mellett a vonzó állapot első példájának veszi, a XIX. század tudományának új elméleti keretében egy nagyon régi kérdésre keresi a választ.<sup>131</sup> Ami magát a kémiai reakció eseményét illeti, az a *folyamatnak* az iskolapéldája, amelyet „kezdet” és „vég” jellemez, s amelyre a megfordítható fizika elméletei nem érvényesek. Természetesen a kvantummechanika le tudja írni a különböző molekulák stabilitásának tulajdonságait, de nem képes leírni annak a folyamatnak a megfordíthatatlan jellegét, amelynek során két molekula egymáshat és átalakul.

Most már megfogalmazhatjuk azt az alapvető viszonyt, amely az irreverzibilis folyamatok összességére érvényes: az időegység alatti  $P$  entrópiatermelés a leírt rendszerben jelen lévő összes irreverzibilis folyamat esetében összegként írható fel. Ennek az összegnek minden tagja a  $J$  fluxus — a irreverzibilis folyamat sebessége — és a folyamatot kiváltó  $X$  erő (affinitás, hőmérséklet-gradiens stb.) szorzata:  $P = d_i S/dt = \sum_n J_n X_n$ . Itt nem tárgyalhatjuk ezen alapvető fontosságú egyenlet érvényességi körének kérdését. Annyit jegyzünk meg csupán, hogy ez egy olyan „makroszkopikus tartomány”, amelyben a lokális fluktuációk elég gyengék ahhoz, hogy a rendszer kisszámú makroszkopikus mennyiség — mint például a hőmérséklet és a nyomás — segítségével minden egyes infinitezimális tartományában leírható legyen.

Az entrópiatermelés lehetővé teszi, hogy a termodinamikában megkülönböztessünk három nagy területet, melyek tanulmányozása egybeesik a termodinamika fejlődésének három egymást követő szakaszával. Az entrópiatermelés, a fluxusok és erők értéke *egyensúlyi állapotban* egyidejűleg nulla; *az egyensúlyhoz közeli* állapotban, amikor a termodinamikai erők gyengék, a fluxus az erő lineáris

függvénye:  $J_k = \sum_h L_{kh} X_h$ . A harmadik területet „*nemlineárisnak*” nevezzük, mert a fluxus itt az erő összetettebb függvénye.

## 2. A lineáris termodinamika

Onsager 1931-ben fedezte fel a nemegyensúlyi állapotok termodinamikájához tartozó első általános összefüggést, amely az egyensúlyhoz közeli területekre vonatkozik. Ezek azok a nevezetes „reciprocitási viszonyok”, amelyek megmutatják, hogy amikor a  $k$ -adik irreverzibilis folyamatra az  $X_h$  termodinamikai erő hatást gyakorol ( $L_{kh} \neq 0$ ), akkor a  $h$ -adik irreverzibilis folyamatra szintén hatással van az  $X_k$  erő ( $L_{hk} \neq 0$ ). Ráadásul a két hatást ugyanazon  $L_{kh} = L_{hk}$  mennyiség segítségével jellemezhetjük. Így egy hőgradiens létezése létrehozhat egy anyagdiffúziós folyamatot és egy koncentrációgradiens megjelenését egy eredetileg egynemű elegyenben. Ezzel szimmetrikusan egy koncentrációgradiens — az arányossági együttható ugyanaz — hőáramlást vált ki a rendszerben.

Hangsúlyozni kell az Onsager-relációk *általános* jellegét. Az például nem lényeges, hogy az irreverzibilis folyamatok gáznemű, folyékony vagy szilárd közegben jönnek-e létre. A reciprocitási viszonyok minden mikroszkopikus hipotézistől függetlenül érvényesek; ha  $L_{kh}$  nem nulla, akkor  $L_{hk}$  sem az, és a két mennyiség egyenlő egymással.

A reciprocitási viszonyok általános jellege volt a irreverzibilis jelenségek termodinamikájában az első olyan eredmény, mely arra a gondolatra vezethetett, hogy ez a terület nem valamiféle homályosan meghatározott *senki földje*, hanem tanulmányozásra méltó terület, mely lehetősége szerint éppoly termékeny, mint az egyensúlyi termodinamika területe. Az egyensúlyi termodinamika a XIX. század műve volt, az egyensúlytalanság termodinamikája pedig a XX. századé, és az Onsager-relációk jelentették azt a fordulópontot, amikor az érdeklődés az egyensúly felől az egyensúlytalanság felé fordult.

A nemegyensúlyi *lineáris* termodinamikának ugyanezen a területén született egy második általános eredmény is. Már említettük a termodinamikai potenciálokat, melyeknek szélsőértéke azt az egyensúlyi állapotot jelöli, amely felé a termodinamikai változás megfordíthatatlanul tart. Idéztük az  $S$  entrópia példáját elszigetelt rend-

szerek, és  $F$  szabad energiáját olyan zárt rendszerek esetében, melyek változatlan hőmérsékletét a környezettel folytatott cserefolyamatok biztosítják. Az egyensúlyhoz közeli rendszerek termodinamikája maga is egy potenciálfüggvény, mely a  $P$  entrópiatermelés létezésén alapul.

Valóban, a minimális entrópiatermelés tétele a második főtételből azt vezeti le, hogy azon a területen, amelyen az Onsager-relációk érvényesek — s ez a lineáris tartomány —, a rendszer olyan stacionárius állapot felé tart, melyet a rendszer kényszereivel összeegyeztethető *minimális* entrópiatermelés jellemez. Ezek a kényszerek a peremfeltételekkel határozhatók meg. Például megfelelhetnek annak, hogy a rendszer két pontját különböző hőmérsékleten tartjuk, vagy egy olyan anyagfluxusnak, mely szüntelenül reakciót termel, miközben kiküszöböli annak termékeit. Különlegesen egyszerű eset az, amikor a peremfeltételek a rendszert állandó értékű termodinamikai erővel ruházzák fel, miközben az egyensúlytól adott távolságra tartják.

A stacionárius állapot, mely felé a rendszer ekkor tart, olyan állapot, melyet a disszipatív (vagyis irreverzibilis) folyamatok nullától különböző sebességei jellemeznek, ám ezek a sebességek a ható erő függvényében olyanformán módosulnak, hogy a rendszert átfogóan leíró mennyiségek az időtől független értéken maradnak. Nevezetesen állandó marad a rendszer entrópiája:  $dS = 0$ , amiből az következik, hogy  $d_e S = -d_i S < 0$ . A környezetből jövő hő- vagy anyagfluxus által meghatározott negatív entrópiaváltozás —  $d_e S$  — pontosan kiegyenlíti a irreverzibilis folyamatokhoz kötődő  $d_i S$  entrópiaváltozást.

A rendszer aktivitása stacionárius állapotban tehát folyamatosan növeli a környezet entrópiáját, de a peremfeltételekkel összeegyeztethető minimális értékkel. Ebben az összefüggésben az egyensúlyi állapot nem más, mint az a különös stacionárius állapot, amely akkor érhető el, amikor a peremfeltételek nulla entrópiatermelést tesznek lehetővé. Végző soron a minimális entrópiatermelés tétele azt a „tehetetlenséget” fejezi ki, amely közös tulajdonsága azoknak a rendszereknek, amelyek elérhetik az egyensúlyt, és azoknak, amelyek olyan közel kerülnek az egyensúlyhoz, amennyire peremfeltételeik ezt lehetővé teszik számukra, feltéve, hogy az így megcélzott állapot része a lineáris tartománynak.

A lineáris termodinamika tehát stabil, megjósolható viselkedéseket, olyan rendszereket ír le, amelyek azon minimális aktivitás felé tartanak, mely összeegyeztethető az azt tápláló fluxusokkal. Az a tény, hogy a lineáris termodinamika — akárcsak az egyensúlyi termodinamika — lehetővé teszi a potenciál meghatározását, másfelől azt vonja maga után, hogy a stacionárius állapot felé tartó változás — az egyensúly felé tartó változáshoz hasonlóan — a különös kezdeti feltételek elfelejtődésével jár együtt. Bármilyen volt is kiindulási helyzete, a rendszer végül elér egy peremfeltételei által meghatározott állapotot: megjósolható, hogy miképpen fog reagálni az ezeket a feltételeket érintő változásra.

Az irreverzibilitás tehát itt sem játszik lényegesen más szerepet, mint az egyensúlyban. Bár nem tűnik el, az irreverzibilis folyamatok általános törvényekből maradéktalanul levezethető végállapotokhoz tarthatnak; a folyamatok „általánosak”, nem pedig „komplexek” vagy „szingulárisak”. Ebben az értelemben tehát a lineáris termodinamika nem teszi lehetővé a Darwin és Carnot, a szervezett természeti formák megjelenése és a szervezetlenség fizikai tendenciája közötti szembenállás paradoxonának meghaladását.

### 3. A nemlineáris termodinamika

A nemlineáris termodinamika fejlődésének alapjában egy olyan megállapítás áll, melynek termékeny volta annál inkább figyelemre méltó, mert negatív eredményt jelentett: be kellett látni annak lehetetlenségét, hogy általános módszert találjanak egy potenciálfüggvény meghatározására olyan rendszerek esetében, amelyekben a fluxusok nemlineáris függvényei az erőknél. Az entrópiatermelés az egyensúlytól távol is leírja a különböző termodinamikai rendszereket, de már nem teszi lehetővé egy vonzó állapot meghatározását, mely a megfordíthatatlan változásban stabil tagként szerepelne.

A potenciálfüggvény hiánya új problémát vet fel a termodinamikában, mégpedig azon állapotok stabilitásának problémáját, amelyek felé egy rendszer változhat. Valóban, amikor egy vonzó állapotot egy potenciál meghatározott szélsőértékével definiálunk, akkor stabilitása bizonyos. Igaz, hogy minden fluktuáció távolítja a rendszert a szélsőértéktől, amely a valóságban mindig az entrópia-



termelés minimumának felel meg, ekkor pedig maga után vonja e termelés növekedését, ám a második főtétel újra a vonzó állapot felé fordítja a rendszert. Az utóbbi tehát „biztosítékkal” rendelkezik az elemi aktivitás rendezetlensége és az e rendezetlenség miatt szüntelenül létrejövő, az átlagok törvényétől való eltérések ellen. Mihelyt egy potenciál definiálható, akkor már egy olyan „stabil világot” írunk le, melyben a változás a rendszereket a potenciálfüggvény megfelelő szélsőértéke által megszabott statikus végállapotba merevíti.

Amikor a rendszerre ható termodinamikai erő elég magas értékeket ér el ahhoz, hogy túlfusson a lineáris állapoton, a stacionárius állapotoknak a molekuláris rendezetlenséggel szembeni immunitása már nem automatikus. Ekkor az instabilitás lehetőségét ezen állapotok mindegyikében vizsgálni kell: mindegyikük esetében meg kell vizsgálni, hogy miképpen reagálnak az esetleges fluktuációk különböző típusaira. A stabilitást többé nem rendelhetjük hozzá egy állapothoz magához, hanem csak egy olyan vizsgálat eredményeképpen következtethetünk rá, amely megállapítja, hogy az összes lehetséges fluktuáció lecseng. A rendszert instabilnak fogjuk nevezni, ha az ilyen elemzés kimutatja, hogy egyes fluktuációk lecsengés helyett képesek növekedni, elhatalmasodni az egész rendszeren, és azt olyan új működési rend felé vinni, amely minőségileg különbözik az entrópiatermelés minimuma által meghatározott stacionárius állapotoktól.

A termodinamika ily módon lehetővé teszi, hogy megmondjuk, mely rendszerek kerülhetnek kívül az egyensúlyt szabályozó rendtípuson, s mely küszöbtől, az egyensúlytól való mely távolságtól, a kényszerek mely értékétől kezdve lesznek képesek a fluktuációk a rendszert a termodinamikai rendszerek szokásos viselkedésétől teljesen eltérő viselkedés felé vinni.

A hidrodinamika, a cseppfolyós anyagok áramlásának területén jól ismertek az ilyen jelenségek. Különösen azt tudták már régóta, hogy a cseppfolyós anyagban bizonyos áramlási sebességtől kezdve örvénylések keletkeznek. Nemrég Michel Serres emlékeztetett arra,<sup>132</sup> hogy már az ókori tudományt is foglalkoztatták az örvényléssel járó áramlások, s így joggal láthatjuk bennük a lucretiusi fizika egyik ihletforrását. Néha — írja Lucretius — bizonytalan időben és helyeken, egy minimális elhajlás, a „clinamen” zavarja meg az atomok

örök és egyetemes zuhanását. A keletkező örvényből születik meg a világ és a természet dolgainak összessége. A clinament, a spontán és ok nélküli eltérést sokszor bírálták mint a lucretiusi fizika egyik legnagyobb tévedését, mint képtelen és mesterséges feltételezést, melynek bevezetését voltaképpen semmi sem indokolta. De vajon — éppen ellenkezőleg — nem annak tudását tükrözi-e, hogy a lamináris áramlás stabilitásának vége szakadhat, és az spontán módon átadhatja helyét az örvényszerű szerveződésnek? A mai hidrodinamikusok is kétségbe vonják az áramlások — melyeket ideális módon folytonos áramlásokként fognak fel — stabilitását, mikor olyan zavart idéznek elő bennük, amely a matematikai leírásban a molekuláris rendezetlenség hatásának felel meg.

Az ún. „Bénard-féle” instabilitás egy másik szembeeső példa annak, hogy a stacionárius állapot instabilitása egyfajta spontán önszerveződési jelenséget indít el. Az instabilitást egy függőleges hőmérséklet-gradiens hozza létre, mely egy vízszintes folyadék-rétegre hat: ennek alsó felszínét melegítéssel bizonyos — a felső határoló felszínnél magasabb — hőmérsékletre hevítik. E peremfeltételek aszimmetriája állandó, letről felfelé irányuló hőáramlást indít be. A kényszergradiens valamely küszöbértékén a folyadék nyugalmi állapota, az a stacionárius állapot, amelyben a hő diffúzióval, konvekciós hatás nélkül terjed, instabillá válik. Konvekciós jelenség — a folyadék molekuláinak összerendezett mozgása — veszi kezdetét, amely felgyorsítja a hőáramlást, vagyis a (kényszer)-gradiens ugyanazon értékén megnöveli a rendszer entrópiatermelését.

A Bénard-féle instabilitás látványos jelenség. A beinduló konvekciós mozgás a rendszer valóban aktív térbeli szerveződését jelenti. Sok milliárdnyi molekula mozog összerendezetten, s alkot jellegzetes méretű, hatszögű konvekciós cellákat. Alkalmazzuk erre az esetre is a Boltzmann-féle komplexiószám-számítást, mely lehetővé teszi, hogy kiszámítsuk az anyag makroszkopikus eloszlásának valószínűségét minden egyes típusára nézve. Itt azt fogjuk vizsgálni, hogy miképpen oszlanak meg a sebesség különböző értékei a molekulák között. A komplexiók így kiszámítható számából arra következtethetünk, hogy egy ilyen önszerveződési jelenség valószínűsége szinte nulla. Így aztán mindannyiszor, amikor újabb viselkedési típusok jelennek meg az instabilitási küszöbön túl, a komplexiók számának kiszámítására alapozott valószínűségfogalom

alkalmazása lehetetlenné válik. Lehetetlensége különösen nyilvánvaló, ha az új viselkedés *létrejöttét* tekintjük. A Bénard-féle instabilitás esetében *egy fluktuáció*, egy mikroszkopikus konvekciós áramlás, melyet a Boltzmann-féle rendezettségi elv automatikus alkalmazása regresszióra ítélne, nemhogy felemésződött volna, felerősödött, és végül az egész rendszert elárasztó makroszkopikus áramlássá vált. Tehát a kényszergradiens kritikus értékén túl spontán módon olyan új molekuláris rend jött létre, amely megfelel annak a hatalmasság erősödött fluktuációnak, melyet a külső világgal folytatott energia-csere, az ingadozást szüntelenül tápláló gradiens stabilizál.

Így tehát az egyensúlytól távoli területen a Boltzmann-féle rendezettségi elv középpontjában lévő valószínűségfogalom érvényét veszti. Ezzel egyidejűleg a kiegyenlítődésre és a különbségek elfejtődésére irányuló tendencia többé nem különös esetként jelenik meg, és ezentúl csak a rendszerek egy korlátozott osztályának lesz tulajdonsága. Különösen azokban a rendszerekben, amelyek összességükben az egyensúly felé tartanak — példának a maga egészében vett bolygórendszert hozhatjuk fel —, a irreverzibilis fluxusok megjósolható és megismételhető módon létrehozhatják az önszerveződés helyi folyamatait. Ebben az összefüggésben egy olyan jelenség, mint az élő formák megjelenése, a fizikai elmélet szempontjából megjósolhatónak tekinthető. Az élet természetesen ki fog kerülni a Boltzmann-féle rendezettségi elv hatálya alól, de be fog lépni az egyensúlytól messze eső területek termodinamikájából következő lehetőségek rendezettségi mezejébe. A Bénard-féle cellák első típusát alkotják a *disszipatív struktúráknak*, mely kifejezésben összekapcsolódik a rendezettség és a pazarlás gondolata. Ezt az elnevezést szándékosan azért választottuk, mert ki akartuk vele fejezni az új alapvető tény: az energia és az anyag disszipációja — melyhez általában a teljesítmény és a rendezetlenség felé tartó változás csökkenését társítjuk — az egyensúlytól távol a rendezettség forrásává lesz. A disszipáció áll mindannak alapjában, amit az anyag új állapotainak nevezhetünk.

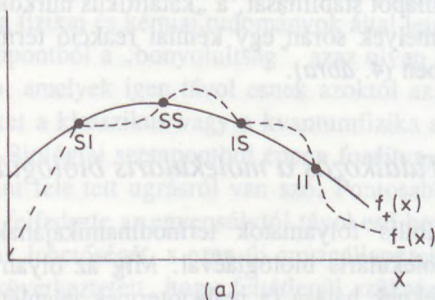
A disszipatív struktúrák valójában új *szupermolekuláris* szerveződési formát képviselnek: míg a kristályszerkezetet leíró változók levezethetők a szerkezetet alkotó molekulák tulajdonságaiból, különösen taszító- és vonzóerők fokából, addig a Bénard-féle cellák, akárcsak a disszipatív struktúrák összessége, lényegileg azt az *átfogó*

nemegyensúlyi helyzetet tükrözik, amelyből származnak. Így a Bénard-féle cellákat leíró változók makroszkopikus, centiméteres, nem pedig — mint a kristálymolekulák közötti távolság —  $10^{-8}$  cm nagyságrendűek.

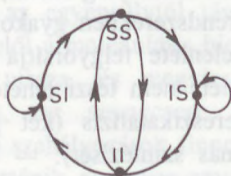
Térjünk vissza a vegyi reakciók esetéhez! A kémiai reakciók által felvetett probléma különbözik a hidrodinamikai stabilitás problémájától, mégpedig annak a reakciósémának a *sajátságosságában*, amely az instabilitások kiváltásához szükséges. Az egyensúlytól „elég” nagy távolságra (a küszöböt dimenzió nélküli számok — így például a Reynolds-szám — adják meg) *minden* folyadékáramlás turbulens jellegűt ölt. A kémiai reakciókra ez nem igaz: nem elegendő eltávolodni a kémiai egyensúlytól ahhoz, hogy elérjük az instabilitási küszöböt. A kémiai rendszerek többségében — bármilyenek is a külső kényszerek és a belőlük eredő sebesség — *a stacionárius állapot stabil marad*, a fluktuációk éppúgy lecsillapodnak és elhalnak, mint az egyensúlyhoz közeli területen. Különösen így van ez azokban a rendszerekben, amelyekben csak  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots$  típusú, *lineáris* differenciálegyenletekkel leírható láncszerű átalakítások mennek végbe.

A kémiai rendszert megbolygató fluktuációk sorsa, akár csak az a működési rend, amely felé e zavarásra adott esetleges válaszként fejlődik, azon kémiai reakciók részleteitől függ, amelyek ebben a rendszerben játszódhatnak le. Egyensúlyi és egyensúlyhoz közeli állapotban a termodinamikai törvények általánosan érvényesültek, az egyensúlyi állapotok és az egyensúlyhoz közeli stacionárius állapotok csak a különböző reakciósebességek közötti viszonyoktól függték. Az egyensúlytól távoli rendszer viselkedése viszont specifikussá válik, kritikus módon függ a kémiai átalakítások mechanizmusától. Nincs többé olyan egyetemesen érvényes törvény, amelyből a peremfeltételek minden értékére le lehetne vezetni a rendszer általános viselkedését. Minden rendszer egyedi problémát jelent, a kémiai reakciók bármely együttese minőségileg különböző viselkedést határozhat meg, és külön is vizsgálendő.

Mindazonáltal született egy általános eredmény, s ez a kémiai instabilitáshoz szükséges alapvető feltétel: egy adott rendszeren belül lezajló kémiai reakcióláncban *az egyedüli reakciólépések*, amelyek bizonyos feltételek és körülmények megléte esetén veszélyeztethetik



(a)



(b)

4. ábra Azok a reakciólépések, amelyek során egy reakciótermék közvetlenül vagy közvetve módosítja saját szintézisének feltételeit, a reakciók együttesét leíró kinetikai egyenletekben *nemlineáris* kifejezések formájában öltenek testet:  $dX/dt$ -ben olyan kifejezés szerepel, amelyben  $X$  kitevője nagyobb egynél. Könnyűszerrel meggyőződhetünk a nemlineáris kifejezések jelenléte és egy stacionárius állapot lehetséges instabilitása közötti összefüggésről, ha egy egyváltozós probléma esetében csak minőségi elemzéshez folyamodunk. Legyen  $dx/dt = f(X)$ . Az  $f(X)$ -et felbonthatjuk két, *pozitív* vagy *zérus* értékű függvényre,  $f_+(X)$ -re és  $f_-(X)$ -re, úgy, hogy  $f(X) = f_+(X) - f_-(X)$ . Ebben az ábrázolásban a stacionárius állapotok megfelelnek  $X$  azon értékeinek, melyekre  $f_+(X) = f_-(X)$ . Grafikus formában a két függvényt ábrázoló görbék metszéspontjainak felelnek meg (4/a ábra). Abban az esetben, amikor  $dX/dt$  lineáris differenciálegyenlet, nyilvánvalóan csak egyetlen metszéspont létezik [ $f_+(X)$  és  $f_-(X)$  egyenesek]. A többi esetben a metszéspont jellege alapján meghatározhatjuk meg a stacionárius állapot stabilitását. Négy eset lehetséges, ezek mindegyikét ábrázolja a 4/a ábra: az állapot stabil lehet a negatív  $\delta X$  fluktuációkra, és instabil a pozitív fluktuációkra (*SI*) nézve; lehet stabil minden fluktuációra nézve (*SS*); stabil csak a negatív fluktuációkra nézve (*IS*); végül instabil minden fluktuációra nézve (*II*). *II* esetében például

$$\text{ha } \delta X > 0, f_+(X + \delta X) > f_-(X + \delta X) \text{ és } dX/dt > 0,$$

$$\text{ha } \delta X < 0, f_+(X + \delta X) < f_-(X + \delta X) \text{ és } dX/dt < 0.$$

Bármennyire összetett is az  $f_+(X)$  és  $f_-(X)$  görbe, észrevehetjük, hogy a stacionárius állapotok típusainak sorozata szigorú kényszereknek van alávetve. A 4/b ábra egy ilyen típusú lánc egymás utáni lehetőségeit mutatja növekvő  $X$ -ekre, a Poincaré és Ljapunov szerinti rendszerben

a stacionárius állapot stabilitását, a „katalitikus hurkok”, vagyis azok a szakaszok, amelyek során egy kémiai reakció terméke részt vesz saját szintézisében (4. ábra).

#### 4. Találkozás a molekuláris biológiával

Az irreverzibilis folyamatok termodinamikájának fejlődése itt egybeesik a molekuláris biológiáéval. Míg az olyan „nemlineáris” reakciók, melyeknek hatása (a reakciótermék jelenléte) visszahat az okra, a szervesen világban viszonylag ritkák, a molekuláris biológia felfedezte, hogy az élő rendszerekben gyakorlatilag ez az általános eset. Autokatalízis ( $X$  jelenléte felgyorsítja saját szintézisét), öngátlási folyamat ( $X$  jelenléte nem teszi lehetővé az  $X$  szintéziséhez szükséges katalízist), keresztkatalízis (két különböző reakciólánc termékei aktiválják egymás szintézisét): — íme azok a klasszikus szabályozó mechanizmusok, amelyek biztosítják az anyagcsere-folyamat koherenciáját.

Az anyagcsere aktiválási és gátlási hálózatának a leírása is elég ahhoz, hogy megértsük az őket szabályozó funkcionális imperatívust: a szintézisek beindítása akkor, amikor haszonnal járnak, és gátlása azoknak a kémiai reakcióknak, amelyeknek hasznosíthatatlan termékei felgyülemlelnének a sejtben.

Az az alapvető mechanizmus, amellyel a molekuláris biológia magyarázza a genetikai információ továbbítását és felhasználását, valójában maga is egy „nemlineáris” mechanizmus, egy visszacsatolási hurok. A dezoxiribonukleinsav, a *DNS*, amely szakaszos formában tartalmazza azt az információt, amely a sejtműködés és sejtépítkezés alapjában álló különböző proteinek szintéziséhez szükséges, olyan reakcióláncban vesz részt, amelynek során az információ különböző proteinsorok formájára *lefordítva* jelenik meg. A szintetizált proteinek közül egyes enzimek visszahatva aktiválják és szabályozzák nemcsak a fordítás különböző szakaszait, hanem a *DNS* replikációjának autokatalitikus mechanizmusát is, melynek segítségével a genetikai információ a sejtosztódás ütemének megfelelően átmásolódik.

Figyelemreméltó egybeesés mutatkozik itt két olyan tudomány között, amelyek mindegyike önálló fejlődés során dolgozta ki az annak

megértéséhez szükséges fogalmakat, hogy az élő anyag miképpen illeszkedik bele a fizikai és kémiai tudományok által leírt világba.

Fizikai szempontból a „bonyolultság”, azaz olyan helyzetek kutatásáról van szó, amelyek igen távol esnek azoktól az ideális helyzetektől, amelyeket a klasszikus vagy a kvantumfizika alapfogalmaival le tudunk írni. Biológiai szempontból éppen fordítva, az egyszerű, a molekuláris szint felé tett ugrásról van szó. Pontosabban, egyfelől a termodinamika felfedezte az egyensúlytól távol eső bonyolult és szervezett struktúrák lehetőségét, s ezen új anyagállapotok egyediségére, valamint arra következtetett, hogy feltétlenül szükséges részleteiben megismerni egy rendszer kémiai mechanizmusát ahhoz, hogy nyomára akadhassunk az egyensúlytól távol felbukkanó új viselkedésformáknak. Másfelől a molekuláris biológia az élő struktúrákat összetevőikre vezette vissza, és megvizsgálta a kémiai mechanizmusok sokféleségét, az anyagcsere reakcióláncainak összefonódását, a különböző szabályozások finom és bonyolult logikáját, azt, hogy miképpen történik az egyes anyagcsere-láncolatok döntő szakaszaihoz társuló enzimek katalitikus funkciójának gátlása és aktíválása. A molekuláris biológia ezen az úton járva felfedezte, hogy az anyagcserében mindig ott vannak a visszacsatolt reakciók, az autokatalitikus és öngátló mechanizmusok, mindazon nemlineáris reakciók együttese, amelyek az egyensúlytól távoli kémiai instabilitás lehetőségének feltételét alkotják.

Vegyük például a szőlőcukor bomlását, azt az anyagcsere-láncolatot, amelynek során a szőlőcukor bomlásával párhuzamosan lezajlik egy energiában gazdag anyag, az *ATP* (adenozin-trifoszfát) szintézise is. Ez az anyag valóságos energiaraktár az élő sejtek számára. Minden egyes lebomlott szőlőcukor-molekula helyett két, energiában gazdag foszfátkötés keletkezik (ezek energiaszükséglet esetén lebomlanak): két *ADP* (adenozin-difoszfát) molekula átalakul két *ATP* molekulává. A szőlőcukor bomlásának tanulmányozása jó példa arra, hogyan egészíti ki egymást a biológia analitikus megközelítése és a stabilitás termodinamikai vizsgálata.<sup>133</sup>

Valóban, a biokémiai vizsgálat felderítette, hogy a metabolikus koncentrációkban időnként oszcillációk zajlanak, és ennek az ideiglenes viselkedésnek a kiváltója a szőlőcukor bomlása. Még pontosabban az is ismert volt, hogy az oszcilláció a reakciólánc egyik kulcsfontosságú szakaszától függ, attól, amelyiket a foszfo-fruktokináz

enzim aktivál. Ezt az enzimet az *ADP* aktiválja, az *ATP* pedig gátolja. Jellegzetesen nemlineáris jelenségről van szó, mely tökéletesen eleget tesz a hatékony anyagcsere-működés követelményeinek. Valóban, mindannyiszor, amikor a sejt igénybe akarja venni az energiatartalékokat, a foszfátkötésekhez folyamodik, és az *ATP*-ből ilyenkor *ADP* lesz, vagyis az *ADP* felhalmozódása a sejtben intenzív energiafogyasztásra utal, valamint arra, hogy ideje feltölteni a készleteket. Az *ATP* felhalmozódása viszont azt jelenti, hogy a szőlőcukor bomlásának sebessége csökkenhet.

A matematikai vizsgálódás azonban azt mutatja meg, hogy az ezt a szakaszt leíró kémiai kinetika oszcillációs jelenséget indíthat be. A kémiai koncentrációk értékei — például a körfolyamat periódusa — az elméleti számítások alapján összeegyeztethetők a tapasztalati adatokkal. A glikolitikus oszcilláció meghatározza a sejtben zajló és az *ADP*-koncentrációtól — tehát közvetve számos más anyagcsere-láncolattól — függő energiafolyamatok modulációját. Itt tisztán makroszkopikus jellegű szabályozással van dolgunk, melyet ugyan a mikroszkopikus szabályozások tesznek lehetővé, de azoktól minőségileg mégis különbözik: az egész mint olyan nem vezethető le közvetlenül kielemezett összetevőiből. Ám ellentétben az emergenciaméletek többségével, melyek — mint mi is — kiemelték az egésznek a részekhez viszonyított minőségi újdonságát, ennek a szupermolekuláris viselkedésnek az „emergenciája” egyáltalán nem lép túl a mennyiségi tudományok módszerein.

Más biológiai folyamatokat is tanulmányoztak a stabilitás szempontjából. Mindenekelőtt említsük meg a sejthártyán keresztül történő aktív anyagtovábbítás mechanizmusainak aktivációját és gátlását, valamint az amőbák (*Dictyostelium discoideum*) tömörülését. Az utóbbi folyamat<sup>134</sup> az egysejtűek és a többsejtűek biológiájának érdekes, közös tárgya. Ha a környezet, melyben élnek és szaporodnak, tápanyagban szegény, az akraziális amőbák látványos átalakuláson mennek keresztül. Az elszigetelt sejtpopulációból több tízezer sejtet magában foglaló massa lesz. Ez a „pszeudoplazmódium” — alakját megváltoztatva — differenciálódik: kialakul egy szár, mely a sejteknek körülbelül — a folyamat során elpusztuló — egyharmadát tartalmazza. Ezen a száron pedig kerek massa képződik, melyből később újabb spórapopuláció árad szét. Ezek a spórák, ha olyan környezetbe kerülnek, mely kielégítő mértékben tartalmaz



tápanyagot, amőbatelepet hoznak létre. Tehát a környezethez való alkalmazkodás látványos esetével állunk szemben: a populáció előbb nomád életmódot folytatva addig él egy területen, amíg azt ki nem meríti, majd oly módon alakul át, hogy újonnan megszerzett mozgékony-sága lehetővé tegye számára újabb területek meghódítását.

Az amőbatömörülés első szakaszának tanulmányozása megmutatja, hogy az amőbapopulációban először vándorlási hullámok alakulnak ki, az amőbák egymáshoz közeledve, ismétlődő hullámokban mozdulnak el egy minden jel szerint spontán módon létrejövő, „vonzási központ” felé. A kísérleti vizsgálódás és a modellezés segít megérteni, hogy ez a vándorlás a sejtek válasza egy kulcsfontosságú anyag, a ciklikus *AMP* koncentrációs gradiensének létezésére a környezetben. Ezt az anyagot előbb a vonzási központ, majd más sejtek is periodikusan, egymást felváltva bocsátják ki.

Itt iskolapéldáját láttuk annak, amit fluktuációs rendezettségnek nevezünk: az *AMP*-t kibocsátó vonzó központ megjelenése annak a ténynek a megnyilvánulása, hogy a rendes tápkörnyezet anyagcsere-rendszere instabillá vált: a tápkörnyezet kimerült. Hogy ebben az ínséges helyzetben melyik amőba lesz az első, amelyik ciklikus *AMP*-t kezd termelni, és ezzel vonzó központtá válik, az a fluktuációk véletlenjétől függ. A fluktuáció a továbbiakban felerősödik, és megszer-vezi a környezetet.

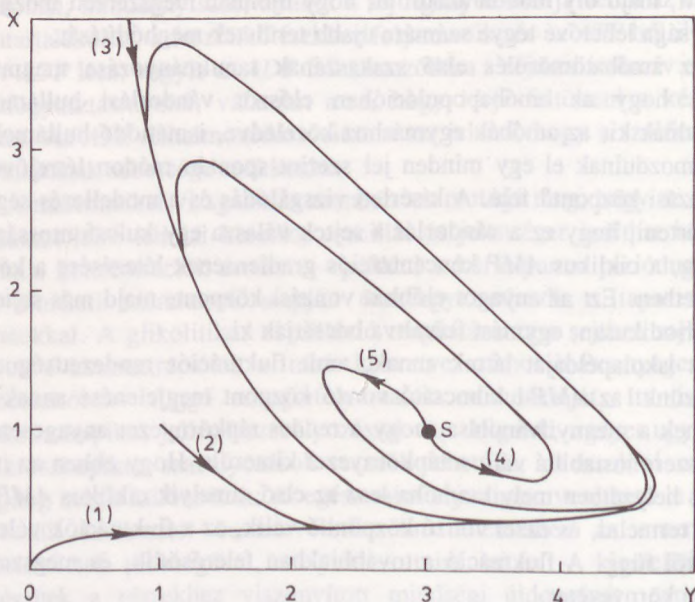
## 5. Túl a kémiai instabilitás küszöbén

Bár ma úgy látszik, hogy a biológiai jelenségek a disszipatív struktúrák gyakorlati tanulmányozásának kitüntetett területét alkotják, a szerveződési jelenségek ámulatba ejtő gazdagságát a legegyszerűbb anyagcsere-körfolyamatnál is sokkal egyszerűbb elméleti kinetikai modellek viselkedésének numerikus elemzése hozta napvilágra.

Az egyik ilyen modellt Brüsszelben vizsgálták meg tüzetesebben, s egy amerikai kutatócsoporttól a „brüsszelátor” nevet kapta, mely azóta polgárjogot nyert a tudományos irodalomban.

Már szó esett a brüsszelátor azon lépéseiről, melyek az instabilitásért felelősek. Az *A*-ból szintetizált és *E* alakban lebomlott *X* anyag kölcsönös katalitikus viszonyban áll *Y* anyaggal; *X* egy tri-

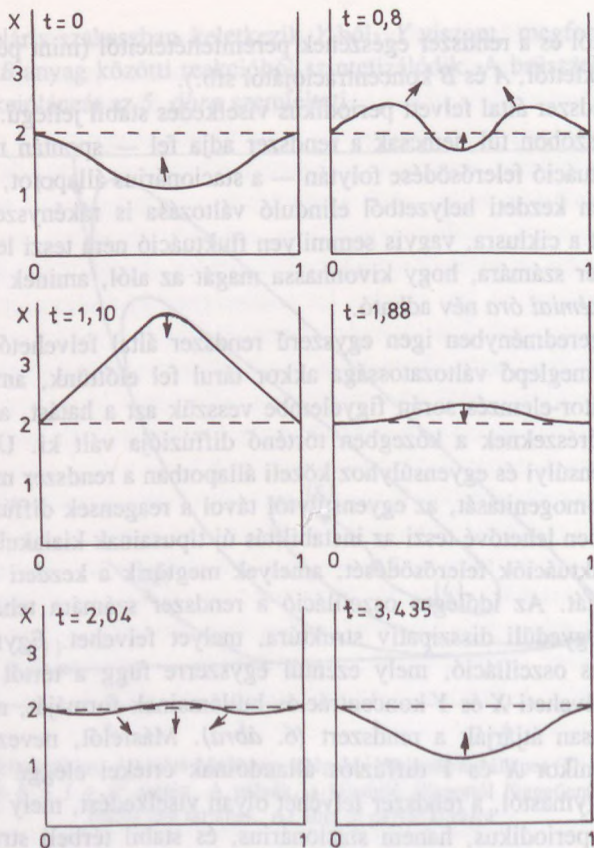
molekuláris szakaszban keletkezik  $Y$ -ból,  $Y$  viszont, megfordítva,  $X$  és egy  $B$  anyag közötti reakcióból szintetizálódik. A brüsszelátor teljes reakcióláncát az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra Határciklus. A ciklus központja a régebbi stacionárius állapot ( $S$ ), mely instabillá vált  $B > 1 + A^2$  esetén. A pályák, a kiinduló állapottól függetlenül, a határciklus felé tartanak. Az ábra öt pályát ábrázol

A vizsgált modellben  $A$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $E$  anyagok koncentrációit a környezettel való kölcsönhatás állítja be. A rendszer viselkedését  $B$  növekvő értékeire vizsgáltuk, miközben  $A$  változatlan maradt. A stacionárius állapot, mely felé egy rendszer változhat, vagyis az az állapot, melyre  $dX/dt = dY/dt = 0$ , megfelel  $X$  és  $Y$   $X_0 = A$  és  $Y_0 = B/A$  koncentrációinak. Ez a stacionárius állapot instabillá válik, ha  $B$  koncentrációja átlép egy kritikus küszöböt (miközben minden más változatlan marad). A kritikus küszöbön túl a stacionárius állapot egy úgynevezett „határciklus” instabil központjává válik (5. ábra):  $X$  és  $Y$  koncentrációi azonban nem maradnak stacionárius állapotban, hanem pontosan meghatározható periodikus oszcillációba kezdenek. Az oszcillációs periódus egyaránt függ a reakciósebességek kinetikai





6. ábra Számítógépen szimulált kémiai hullám, a következő dimenzió nélküli paraméterekkel:  $D_X = 8 \times 10^{-3}$ ,  $D_Y = 4 \times 10^{-3}$ ,  $A = 2$ ,  $B = 5,45$ . ( $D_X$  és  $D_Y$   $X$  és  $Y$  diffúziós együtthatói)

fúzióját a rendszerben, akkor feltűnik egy további jelenség: a rendszer „természetes határokra” tesz szert, melyek a rendszert leíró paraméterek függvényei, s nem egyeznek meg a peremfeltételek által a rendszernek kiszabott mérettel. A rendszer „maga” határozza meg saját dimenzióit, azt a tartományt, melynek terét a periodikus koncentráció hullámai átjárnak, illetve strukturálják.

Az imént ismertetett eredmények még csupán homályos képet festenek azokról a változatos jelenségekről, melyek az egyensúlytól távol létrejöhetnek. A következtetések felkeltik az érdeklődést, melyet

még az is felcsigáz, hogy — az elméleti modelleken folytatott kutatásokkal egyidejűleg — hasonló jelenségeket nemcsak biológiai, hanem a szervesetlen világból vett példákön is megfigyeltek.



7. ábra Számítógépes szimulációval kapott kétdimenziós, polarizált stacionárius állapot. Paraméterei:  $D_X=3,25 \times 10^{-3}$ ,  $D_Y=1,62 \times 10^{-2}$ ,  $A=2$ ,  $B=4,6$ ,  $R=0,1$

A legnevezetesebb kétségkívül a Bjelouszov által felfedezett reakció (1958), melyet később Zsabotyinszkij tanulmányozott.<sup>135</sup> Egy szerves sav — mint például a malonsav — oxidációjáról van szó, mely káliumbromát hatására, egy megfelelő katalizátor, cérium-, mangán- vagy vasion jelenlétében megy végbe. Ugyanabban a rendszerben a különböző kísérleti feltételektől függően létrejöhet egy kémiai óra, egy stabil térbeli differenciáció, vagy kialakulhatnak a kémiai aktivitás olyan hullámai, amelyek a reakció közegében makroszkopikus távolságokra terjednek.

## 6. Folyamatörténet és elágazások

Az egyensúlytól távol az idő egyneműsége valójában kétszeresen is megsemmisül: egyrészt annak az aktív tér-idő struktúrának a következményeként, melynek jóvoltából a rendszer egy szervezett,

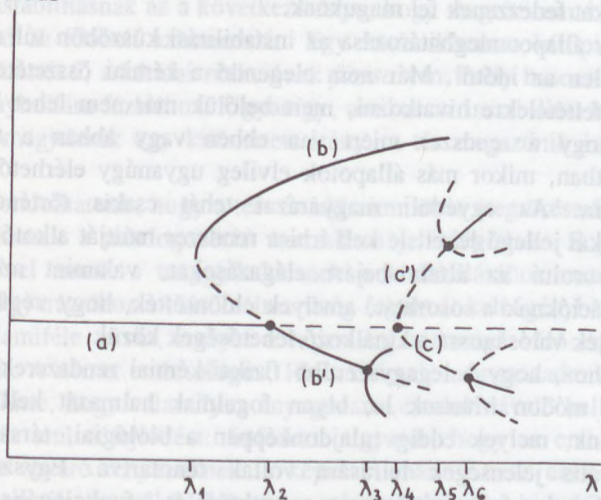
belső dimenziókkal és ritmussal rendelkező egészre jellemző viselkedésre tesz szert, másrészt pedig e struktúrák megjelenésének története révén.

A diffúzió nélküli brüsszelátor-modell esetében ez a folyamat-történet végzettszerű: miután a rendszer instabillá vált, bármely időpontban fluktuáció keletkezik, akkor annak felerősödése elvezet a határciklushoz. De mihelyt az egyenletek figyelembe veszik a diffúziót, a kritikus küszöbön túl lehetséges stabil állapotok változatossága folytán — melyeknek csak néhány típusát soroltuk fel — beszüremlik egy semmire vissza nem vezethető bizonytalansági elem. Ha az egyensúlytól egy bizonyos távolságra nem egy, hanem több lehetőség is adott a rendszer számára, az mely állapot felé fog változni? Ez annak a fluktuációnak a természetétől függ, amely ténylegesen destabilizálja az instabil rendszert, és addig erősödik, míg végül megvalósítja az egyik lehetséges makroszkopikus állapotot. Azt mondhatjuk, hogy maga a rendszer „választ”, nem mintha valamilyen „szubjektív” szabadsággal rendelkezne, hanem mert a fluktuáció éppen az a valami, ami a rendszer lényegi aktivitásából eredően visszavonhatatlanul kikerül a peremfeltételek ellenőrzése alól. E folyamatban az az aránykülönbség jelenik meg, amely a rendszer mint „egész” — amelyre hatni lehet, s amelyet meg lehet határozni — és azon elemi folyamatok között áll fenn, amelyeknek rendezetlen sokasága ennek az „egésznek” az aktivitását jelenti.

Azt a kritikus pontot, amelytől kezdve egy új állapot lehetőségessé válik, elágazásnak (bifurkáció) nevezzük. Ilyen elágazási (bifurkációs) pontok azok az instabilitási pontok, amelyek körül egy végtelen kicsiny zavar már elegendő ahhoz, hogy megszabja a rendszer makroszkopikus működési rendjét. Ezeknek a pontoknak a szerepére hivatkozott Maxwell, amikor elgondolta a fizikai determinizmus, valamint a választás és döntés fogalmai közötti viszonyt (II. fejezet, 3. szakasz).

Még egy olyan egyszerű rendszerben is, mint a brüsszelátor, egész sor elágazási pont van, melyeket az úgynevezett elágazási diagrammal írhatunk le (8. ábra).

Az elágazási diagram egy paraméter — jelen esetben a  $B$  koncentráció — emelkedő értékeire érvényes. A stacionárius állapot stabilitása az *első elágazáskor* megszűnik. Ha még jobban eltávolodunk az egyensúlytól, más struktúrák lehetősége tűnik föl, és az első



8. ábra Elágazási diagram. Az elágazási paramétert  $\lambda$  jelöli.  $\lambda < \lambda_1$  esetében egy stacionárius állapot létezik  $\lambda$  minden egyes értékére; ezt az állapotcsaládot jelöli az  $a$  ág.  $\lambda = \lambda_1$  esetében két másik állapotcsalád is lehetségessé válik ( $b$  és  $b'$  ág). A  $b'$  ág állapotai instabilak (pontozott vonal).  $\lambda = \lambda_2$  esetében a  $b'$  ág állapotai stabilak, az  $a$  ágé instabilak lesznek (stabilitáscsere).  $\lambda = \lambda_3$  esetében a  $b'$  ág újra instabil lesz, és megjelenik két stabil ág.  $\lambda = \lambda_4$  esetében az instabil  $a$  ág újabb elágazási ponthoz érkezik, ahol két újabb állapotcsalád válik lehetségessé, melyek instabilak maradnak  $\lambda = \lambda_5$ -ig, illetve  $\lambda = \lambda_6$ -ig...

struktúra maga is instabillá válhat. A rendszer tehát — ha azt a hipotézist tekintjük, mely szerint peremfeltételei arra kényszerítik, hogy egyre inkább eltávolodjék az egyensúlytól — instabilitások és felerősödött fluktuációk sorozatán át fejlődik. Így fogja befutni az elágazások diagramját, azon az úton, mely tulajdonképpen nem más, mint *folyamattörténete*: azoknak az egyenleteknek a meghatározottsága, amelyek lehetővé teszik a különböző állapotok stabilitásának és instabilitásának kiszámítását, elválaszthatatlanul összekapcsolódik azoknak a fluktuációknak a véletlenszerűségével, amelyek eldöntik, mely állapot felé fejlődik ténylegesen a rendszer.

Láttunk egy elágazási diagramot, amelyben a paraméter  $B$  koncentrációja volt. Egy másik elágazási paraméter a rendszer *mérete*. Ez igazán érzékletes példa: a túlságosan kis rendszerek teljesen a környezet hatása alatt állnak, növekedésük lehetővé teszi számukra,

hogy a stabilitás új lehetőségeit végigjárva, egyre újabb működési formákat fedezzenek fel maguknak.

Egy állapot meghatározása az instabilitási küszöbön túl már nem független az időtől. Már nem elegendő a kémiai összetételre és a peremfeltételekre hivatkozni, mert belőlük már nem lehet levezetni azt, hogy a rendszer miért van ebben vagy abban a *tényleges* állapotban, mikor más állapotok elvileg ugyanúgy elérhetőek voltak számára. Az egyedüli magyarázat tehát csakis történeti vagy genetikai jellegű lehet: le kell írni a rendszer múltját alkotó utat, fel kell sorolni az általa bejárt elágazásokat, valamint azoknak a fluktuációknak a sorozatát, amelyek eldöntötték, hogy végül melyik út váljék valóságossá a kínálkozó lehetőségek közül.

Ahhoz, hogy a legegyszerűbb fizikai-kémiai rendszereket összefüggő módon írassuk le, olyan fogalmak halmazát kell igénybe vennünk, melyek eddig tulajdonképpen a biológiai, társadalmi és kulturális jelenségek leírására voltak fenntartva. Egyszerre van szükségünk a folyamat történet, a struktúra és a funkcionális aktivitás fogalmaira ahhoz, hogy leírassuk a *fluktuációs rendezettséget*, azt a rendezettséget, amelynek forrása a nemegyensúlyi állapot.

## 7. Eukleidésztől Arisztotelészig

A disszipatív struktúrák egyik legérdekesebb ismertetőjegye egészen bizonyosan a maga egészében tekintett rendszer egységes, összefüggő volta. Az első elágazáson túl a rendszer a jelek szerint mint egységes egész viselkedik, úgy, mintha hosszú távú erőik székhelye lenne. A molekulásóság, melynek kölcsönhatásai nem terjednek túl a néhány száz  $10^{-8}$  cm-en, úgy strukturálódik, mintha minden egyes molekula „információval rendelkezne” a rendszer egészének állapotáról.

Már sokszor elhangzott, és nekünk is többször alkalmunk volt elismételni, hogy az újkori tudomány abból az átmenetből született, mely az arisztotelészi — a biológiai folyamatok szerveztségét és funkcionális együttműködését mintául vevő tér —, valamint az egyenmű és izotrop eukleidészi tér között zajlott le. A disszipatív struktúrák elmélete olyan felfogás felé fordít bennünket, amely újra közelebb áll Arisztotelész nézeteihez. Akár kémiai óráról, koncentrációs



hullámokról, akár a kémiai anyagok nemhomogén eloszlásáról van szó, az instabilitásnak az a következménye, hogy megtöri mind a térbeli, mind az időbeli szimmetriát. Egy határciklusban két pillanat nem egyenértékű, a kémiai reakciónak *fázisa* van, mely hasonlít például a fényhullám fázisához. Ugyanígy, amikor az instabilitás következtében megjelenik egy kitüntetett irány, a tér megszűnik izotrop lenni.

Arra gondolhatunk, hogy a tér- és időszimmetria megtörése fontos szerepet játszik a morfogenezis varázslatos jelenségeiben. E jelenségek idővel annak a meggyőződésnek a kialakulásához vezettek, hogy a magyarázathoz a belső célszerűség fogalmát kell igénybe vennünk, valamiféle tervét, melyet a teljes organizmussá váló embrió megvalósít. A német embriológus, Hans Driesch még századunk elején is azt hitte, hogy valamilyen anyagtalan „entelekhiával” kell magyarázni az embriófejlődést: felfedezte ugyanis, hogy az embrió a legerősebb zavaró tényezőknek is képes ellenállni, azaz ezek ellenében is normális és működőképes organizmus alakulhat ki belőle.

Az embriológiai kérdéskör összetettsége természetesen igen szerteágazó, s itt meg kell elégednünk némi útbaigazítással. Az embriológusok már sok évvel ezelőtt bevezették a morfogenetikai mező fogalmát, és felvetették azt a hipotézist, hogy egy sejt „szakosodása” az ebben a mezőben elfoglalt *helyzetétől* függ. De hogyan „ismeri fel” egy sejt a helyzetét? Az egyik sokat vitatott elgondolás szerint létezik egy jellemző „anyaggradiens” és egy vagy több „morfogén” — ilyen gradiensek létrejöhetnek, ha a kémiai stabilitási küszöbön túl megtörik a szimmetria. Ha egyszer létrejött, a kémiai gradiens valóban más és más kémiai környezetet biztosíthat minden egyes sejt számára, és így mindegyiküket arra készítheti, hogy proteinek sajátos csoportját szintetizálja. Ez a modell manapság széles körben elfogadott. Úgy látszik, számos tapasztalatilag tanulmányozott eset támasztja alá (elsősorban a „*drosophila*” légy esete), s különösen érdekes azon biológiai rendszerek szempontjából, amelyekben egy tojás látszólag szimmetrikus állapotból indul fejlődésnek (*Fucus*, *Acetabularia*). De vajon valóban egynemű-e a tojás a kiinduláskor? A javasolt modell érvényességét ez a probléma nem kérdőjelezi meg közvetlenül. Mindenesetre a kémiai reakciókhoz és az átvitelhez kötődő instabilitás a jelek szerint az egyetlen olyan mechanizmus, amely képes megtörni egy eredetileg egynemű közeg szimmetriáját.

Ha a kiindulási közegben kis inhomogenitások mutatkoznak, hatásuk mindössze annyi, hogy a változást meghatározott struktúra felé terelik, a szimmetria megtörése mindenképpen bekövetkezik.<sup>136</sup>

Általánosabban kimondhatjuk, hogy a disszipatív struktúrák felfedezése által megnyílt távlatok következtében, célul tűzhetjük ki a biológiai rendezettség azon elképzelésének kidolgozását, amelyben helye van — s ez a redukcionista és antiredukcionista ósrégi ellentétének meghaladása — az életjelenség különleges voltának.

Legalábbis Arisztotelész óta — alkalmunk volt hivatkozni Stahlra, Hegelre, Bergsonra, most pedig az „antiredukcionista” — mindig előkerül ugyanaz a meggyőződés: a bonyolult szerveződést úgy kell elgondolni, hogy megkülönböztessük és tagoljuk a leírási szinteket, és az egész meg a részek viselkedése közti viszonyt kell vizsgálnunk. A redukcionistaikkal ellentétben — számukra a szerveződés egyedüli „oka” csak a rész lehet — Arisztotelész a formai okot, Hegel a szellem működését, Bergson az egyszerű, forrásként feltörő aktust mint a szerveződés teremtőjét hangsúlyozza, s ezzel mindahányan az egész elsőbbsége mellett teszik le a voksot.

Szabadjon idéznünk itt egy szerfölkött világos részletet Bergson-tól:<sup>137</sup> „Általában, mikor ugyanaz a tárgy egyik oldalról egyszerűnek, a másiktól végtelenül összetettnek látszik, a két arculatnak távolról sincsen ugyanaz a fontossága, még kevésbé ugyanaz a valóságfoka. Az egyszerűség akkor magához a tárgyhoz tartozik, a bonyolódás végtelensége pedig azokhoz a nézőpontokhoz, amelyekből a tárgyhoz fordulunk, mikor körülötte járunk, az egymás mellé rakott szimbólumokhoz, melyekkel érzékeink vagy értelmünk azt ábrázolják, — általánosabban, *más rendű* elemekhez, melyekkel mesterségesen utánozni próbáljuk, de melyekkel összemérhetetlen marad, más természetű lévén, mint ezek. Egy zseniális művész arcot festett a vászonra. Képét utánozhatjuk kis színes négyszögekből álló mozaikkal. S a minta görbéit és árnyalatait annál jobban visszaadjuk, minél kisebbek, számosabbak, s változatosabb színűek négyszögeink. De végtelen sok, végtelen kicsiny és végtelen sok árnyalatú négyszögecske kellene, hogy megkapjuk pontos egyenértékét annak az arcnak, melyet a művész mint egyszerű dolgot fogant, melyet egyszerre akart a vászonra vinni, s mely annál bevégezettebb, minél inkább úgy tűnik fel, mint valami oszthatatlan belső látás kivetítése.”

A biológiában az antiredukcionista és redukcionista ellentéte gyakran haragban lévő testvérek ellentétéként jelentkezett, akik a belső célszerűség, illetve a külső célszerűség bajnokaiként léptek fel.<sup>138</sup> Az immanens szervező értelem gondolatával gyakran szembeállítják a kor technikájától (mechanikai és hőerőgépek, kibernetika) kölcsönzött szervezési modellt, ami megint csak kiváltja az ellenkérdést: „Ki” indította be a gépet, ezt a külső célszerűségnek alárendelt automatát?

Ismerjük egyes mai biológusok válaszát. Szerintük a biológiai szerveződésnek nem lehet más magyarázata, mint az előnyös ritka mutációk kiválasztódása és megsokasodása. A fizikai törvényekkel összeegyeztethető szerveződés egyedüli sajátossága az, hogy létrejött e törvények szempontjából hihetetlenül valószínűtlen. Ami pedig bennünket illet, mi azt gondoljuk, hogy a mutáció/szelekció dualizmusa csupán mélységes tudatlanságunkat leplezi a mutációk által módosított genetikai „szöveg” és az élő szerveződés kapcsolatának kérdésében. Példának okáért, hogyan megy végbe az átmenet két szerveződés között? Nem lehetséges továbblépni a szerveződések és átalakulásaik elmélete nélkül, hacsak nem maradunk meg annál, hogy mindent megmagyaráz a genetikai szöveg, amelynek verbális jellegét Weiss és Waddington hangsúlyozta: az egyes molekuláknak tulajdonított minőségek — szervezés, szabályozás, program — megannyi irányzatos kifejezés. Úgy vélték, hogy ha egy ember- vagy technikaközpontú metaforával élve a molekulákat felruházzuk az ellenőrzés, az informálás és a szabályozás képességével — s mindezt makroszkopikus szinten tesszük —, akkor a problémát megoldásként mutatjuk be. A valóságban a sejt nem azonos egy elektronikus áramkörrel, és nem azonosítható egy vezetékrendszerrel, melynek minden reléje ténylegesen meghatározhatja a rendszer egészének működését, s így joggal mondható felelősnek érte. A sejt világában nem található meg technikai eszközeink determinisztikus jellege és pontossága. A sejtet nagyszámú molekulából álló populáció alkotja, szabadságfokának száma végtelenül felülmúlja azt, ami belőle kölcsönhatásaik eredőjeként átfogó viselkedésként kialakul.<sup>139</sup>

Míg egy elektronikus áramkör működése levezethető relék természetéből és helyzetéből, hiszen relére és áramkörre ténylegesen ugyanaz a lépték érvényes, — a reléket ugyanaz a mérnök tervezhette és illeszthette össze, aki az egész gépet megtervezte —, a biológiai

molekulasokaság lényegileg esetleges viselkedésének egységes, összefüggő volta nem vezethető le az enzimek szabályozó tevékenységéből. Itt a molekuláris tevékenység leírásától a sejt szupermolekuláris szintjére való átmenet kérdése vetődik fel.

Ám féltő, hogy a redukcionizmus pusztá elutasítása kimerül abban, hogy Arisztotelésznek kora atomistáiról mondott bírálatát ismételtetjük, és azzal a gondolattal, mely szerint az egész különösebb nehézség nélkül levezethető a részek viselkedéséből, a hierarchikus szerveződés ósdi fogalmát állítjuk szembe: minden egyes szinten új teljesség tűnik föl, mely feltételezi ugyan a részeket, de olyan együttes viselkedésbe olvasztja őket, melyet tőlük idegen logika irányít, s melyet nem magyarázhatnak meg. Itt elérkezünk a rendszert mint „egészt” meghatározó részek és a makroszkopikus paraméterek kölcsönös szerepének „kiegyenlítettebb” felfogásához. S ez a felfogás nem csak a fizikai-kémiai struktúrákra érvényes, amelyekben a molekuláris ismertetőjegyek — különösen a katalitikus mechanizmusok — elválaszthatatlanul összefonódnak a szupermolekuláris ismertetőjegyekkel. A fizika újabb fejlődése azt az általánosságot kérdőjelezi meg, amelyet „Boltzmann rendezettségi állandójának” neveztünk, vagyis a józan ész evidenciáját, amely szerint egy nagyszámú populáció átlagos aktivitása az egyedi viselkedések kiegyenlítődéésének felel meg. Az egyensúlytól távol egy működési rendszer hasonlíthat *szerveződésre*, mert olyan mikroszkopikus eltérés felerősödésének az eredménye, mely „a megfelelő pillanatban” az egyik reakcióutat előnyben részesítette más, szintűgy lehetséges utak rovására. Az egyedi viselkedések tehát bizonyos körülmények között döntő szerepet játszhatnak.

A Boltzmann-féle rendezettségi elvnek ezt a korlátját fogjuk megvizsgálni a következő fejezetben. Ez a korlát nemcsak a fizikai-kémiai tudományok számára érdekes, hanem mindazon tudományok számára is, amelyek olyan nagyszámú sokaságok változását tekintik tárgyuknak, amelyek lokális kölcsönhatások által meghatározott viselkedésű egyedekből állnak.

## VI. A fluktuációs rendezettség

### 1. A nagy számok törvénye

Az, hogy a fluktuációk döntő szerepet játszhatnak egy makroszkopikus rendszer kialakulásában, a Boltzmann-féle rendezettségi elv értelmében meghatározott mikroszkopikus és makroszkopikus szint közötti viszonyok mélyreható átalakulását jelenti.

Mindegyikünknek van ösztönös elképzelése arról, hogy mik is azok a fluktuációk, és milyen körülmények fennállása esetén lehet őket figyelmen kívül hagyni. Vegyünk egy  $N$  molekulából álló,  $V$  térfogatba zárt gázt. Osszuk ezt a térfogatot két egyenlő részre. Mekkora lesz a részecskék száma ( $X$ ) a két térfogat egyikében? Az  $X$  változó „véletlen jellegű” változó, s értékei várhatóan  $N/2$ -höz állnak majd közel.

Pontosabban, amikor ismételten megfigyeljük a részecskék számát az egyik fél részben, azt várjuk, hogy a kísérletek  $k$  számával elosztott  $X_1 + X_2 \dots + X_k$  összeg által meghatározott  $X$  átlagszám<sup>140</sup>  $N/2$  felé tart. Természetesen „fluktuációkat” fogunk tapasztalni. Ezeknek a fluktuációknak a mérete a *szóródáshoz* kötődik, melyet az egyes kísérletek során ténylegesen megfigyelt részecskék száma és az  $N/2$  átlagszám közötti különbség négyzetének átlagos értékeként határozzunk meg:<sup>141</sup>  $\langle (X - N/2)^2 \rangle$ . Várni azt várjuk, hogy a fluktuációk  $N/2$ -höz képest elhanyagolhatóak lesznek, ha a részecskék száma kellőképpen nagy. Ez a tartalma a nevezetes „nagy számok törvényének”. E törvény szerint a szóródás  $X$  *átlagértékű* (azaz  $N/2$ ) lesz, ami azt jelenti, hogy a fluktuációk lehetnek abszolút értékben nagyok, de a  $\sqrt{\langle (X - N/2)^2 \rangle} / \langle X \rangle$ -hez képest számított *viszonylagos* értékük  $1/\sqrt{N}$  nagyságrendű, és így kellően nagy  $N$  esetén nulla felé tart. Így igazolja, elég nagy rendszer esetén, a nagy szá-

mok törvénye az átlagértékek és a fluktuációk közti világos különbségtételt, az utóbbiakat elhanyagolhatóként határozva meg.

A nagy számok törvénye a valószínűségszámítási kézikönyvekben szereplő klasszikus törvényeknek szolgál alapjául. Ilyen például a Gauss-törvény, a Poisson-törvény és mások. Lényeges szerepet játszik mindazon területeken, ahol adott sokaság viselkedésének leírására van szükség. Már megmagyaráztuk, hogy a Boltzmann-féle rendezettségi elv értelmében vett nagy számok törvénye teszi lehetővé az összetett rendszerek termodinamikai leírását *kisszámú* paraméter — mint például a nyomás, a hőmérséklet és a koncentrációk — igénybevételével. Semmilyen fizikai, társadalmi vagy gazdasági előrejelzés nem volna lehetséges, ha a nagyszámú elemet tartalmazó populációkban a fluktuációk — hogysesem megtartanák a nagy számok törvénye által előírt elhanyagolható jellegüket — *minden pillanatban* annyira felerősödhetnének, hogy felboríthatnák azt az állapotot, amelyet attól fogva semmi szín alatt nem nevezhetnénk többé átlagos állapotnak.

Mégis, a disszipatív struktúrák megjelenésekor ezen a törvényen, így vagy úgy, „erőszak” kell hogy tétessék. S valóban, egy kezdetben mikroszkopikus fluktuáció felerősödhet. Bőséggel vannak példáink ilyesféle jelenségekre, különösen a biológiában. Már említettük a sejt fölötti szerveződésű, masszává összeálló akraziális amőbák esetét. Egy másik jellemző példa a természetboly építésének első szakasza, melyet Grassé írt le, és Deneuburg tanulmányozott a bennünket itt foglalkoztató nézőpontból.<sup>142</sup> Példaszerű esetről van szó, mivelhogy a boly felépítése egyike azoknak az egységes és összefüggő tevékenységeknek, amelyek némelyeket arra indítottak, hogy a rovarközösségekkel kapcsolatban egyfajta „kollektív lelket” emlegessenek. Elkerülendő azt a valós nehézséget, amelyet felvet, de el is kendőz az efféle igény, azt kellene bebizonyítani, hogy a természeteknek csupán kevés információra van szükségük ahhoz, hogy részt vegyenek egy olyan hatalmas és bonyolult építmény felépítésében, mint a természetboly. Márpedig a modell megmutatja, hogy ennek a tevékenységnek az első szakasza — a pillérek megépítése — *származhat* a természetek rendezetlen viselkedésének összegéből. A természetek valószínűleg véletlenszerűen szállítják és rakják le a földgolyóbisokat, melyeket közben valamilyen hormonanyaggal itatnak át, de azt is tudjuk, hogy ennek az anyagnak megvan az a tulajdonsága,

hogy vonzza a természetet. A kiindulási fluktuáció ebben az esetben egyszerűen az, hogy a földgolyóbisok a természetek által látogatott tér egyik pontján kissé nagyobb mennyiségben halmozódnak fel, mint másutt. Ennek az egyszerre véletlenszerű és megújuló eseménynek a felerősödését a természetek sűrűbb előfordulása okozza azon a területen, amelyen a nagyobb koncentrációban jelen lévő hormon hatása érvényesül. Abban a mértékben, ahogyan a természetek egyre sűrűbben fordulnak meg egy területen, növekszik annak valószínűsége, hogy oda rakják le a földgolyóbisokat. Kiszámítható, hogy „pillérek” fognak kialakulni egymástól olyan távolságra, mely arányos azzal a távolsággal, amennyire a földgolyóbisokban lévő hormon elhatol.

A természetek esete számunkra példa értékű. A Boltzmann-féle rendezettségi elv természetesen lehetővé teszi, hogy a kémiában, a biológiában vagy a társadalomtudományokban leírassuk azokat a változásokat, amelyek során eltompulnak a különbségek, és elenyésznek az egyenlőtlenségek. De tehetetlen azokban az esetekben, amikor néhány elemi „döntés” egy instabil helyzetben lévő sokelemű rendszert átstrukturálódásra és tagolódásra készíthet.

## 2. Fluktuációk és kémiai kinetika

Amint láttuk, nemlineáris kémiai kinetikák elvezethetnek disszipatív struktúrákhoz — ezek a struktúrák elsősorban mikroszkopikus szintű fluktuációk felerősödéséből származnak. Tehát joggal várhatjuk, hogy kapcsolat van a kémiai kinetika típusa (például a katalitikus lépések) és a fluktuációs törvények között. Itt molekuláris szinten újra rábukkanunk arra, amit a termodinamikai törvények kapcsán már említettünk. Ugyanis arra kell következtetnünk, hogy ha az egyensúlyhoz közel a fluktuációs törvények *egyetemese*k, akkor az egyensúlytól távolabb, amikor a rendszerben nemlineáris kinetikának megfelelő reakciók zajlanak, a szóródás viszonylagos értéke *nem engedelmeskedik többé* a fentebb megadott általános képletnek. A fluktuációk sorsa ekkor igen sajátosan alakul. Minden egyes esetben külön meg kell vizsgálni, hogy az adott esetnek megfelelő szóródás *miképpen és milyen mértékben* tér el az előző szakaszban magyarázott klasszikus képlettől. A nemlineáris kinetikájú rendszerekben zajló fluktuációk tanulmányozása által felvetett kérdések újak, és még nem

öltöttek végleges formát. Említsünk meg néhány eredményt, mely ezen a még feltáratlan, de izgalmas területen született.

Az elágazási pontok szomszédságában, ott, ahol a rendszernek „választási lehetősége” van két működési mód között, s valójában még egyik szerint sem működik, az általános törvénytől való eltérés a lehető legteljesebb: a fluktuációk elérhetik az átlagos makroszkopikus értékek nagyságrendjét. Még a gondolata is elenyészik a makroszkopikus leírás, azaz a fluktuációk és az átlagos törvények közti különbségtétel lehetőségének. Összefüggések jelenhetnek meg rendes esetben független események között. Például a brüsszeláton kimutatták, hogy az elágazási ponton a rendszer *egésként* viselkedik. Egymástól makroszkopikus távolságra lévő tartományok között kölcsönviszony jön létre: a köztük zajló reakciók sebességei egymástól függenek, a lokális események hatása tehát átgyűrűzik az egész rendszeren. Itt olyan paradox helyzet áll elő, mely minden, a populációk viselkedésére vonatkozó „intuíciónkat” megcsúfolja, olyan állapot, melyben a kis különbségek ahelyett, hogy semlegesítenék egymást, egymást követve szüntelenül terjednek. Így az egyensúly közömbös káoszának helyébe alkotó káosz lép, a régiek emlegette termékeny káosz, amelyből különböző struktúrák születhetnek.

Térjünk most át erről a valóban rendhagyó „állapotról” arra az esetre, amikor több különböző működési mód lehetséges, és amikor egy fluktuáció a rendszert egyikből a másikba lendítheti. Érdekes valamivel közelebről megvizsgálni a fluktuációk felerősödésének mechanizmusát. Először is egy általános következtetés adódik. A fluktuáció nem áraszthatja el egy csapásra az egész rendszert. Előbb meg kell telepednie egyik tartományában. Aszerint, hogy ez a kiindulási tartomány kisebb-e vagy sem egy bizonyos kritikus méretnél (mely a kémiai disszipatív struktúrák esetében a kinetikai állandóktól és a diffúziós együtthatóktól függ), a fluktuáció vagy visszafejlődik, vagy éppen ellenkezőleg: eláraszti az egész rendszert.

A fázisátalakulások klasszikus elméletében olyannyira megszokott *nukleációs* jelenségről van itt szó: egy gázon belül szüntelenül kondenzációs cseppecskék alakulnak ki és párolognak el. Ám ha a hőmérséklet és a nyomás olyan, hogy a folyékony állapot is stabil, a csepp számára létezik egy kritikus méret, mégpedig annál kisebb,



minél magasabb a hőmérséklet és a nyomás. Ha egy cseppecske mérete túllép ezen a „nukleációs küszöbön”, az egész gáznemű rendszer hirtelen átmegy folyékony állapotba. Itt is, akárcsak a morfogenezis vagy a természet- és amőbapopulációk viselkedésének esetében, a rendszer, mely rövid távú erőknél engedelmeskedő, kölcsönhatásban lévő elemek tömegéből áll, egészként viselkedik, úgy, mintha minden egyes molekula „információval” rendelkezne az egész állapotáról.

Már az első kutatások váratlan általános eredményre vezettek: a kritikus méret annál nagyobb, vagyis az instabilizáló fluktuáció annál ritkább, minél nagyobb a rendszer összes tartományait — s különösen a fluktuáló tartományt környezetével — összekapcsoló diffúzió. Más szavakkal, minél gyorsabb a kommunikáció a rendszerben, minél nagyobb azoknak a jelentéktelen fluktuációknak az aránya, amelyek nem képesek a rendszer állapotának átalakítására, annál stabilabb ez az állapot. Hogyan értsük a kritikus méret fogalmát? Ez a fogalom abból a tényből született, hogy a „külvilág”, a fluktuáló tartomány környezete mindig a fluktuáció elnyelésére törekszik. Az utóbbi tehát a tartományok összekapcsolódásának hatékonyságától függően vagy megszűnik létezni, vagy felerősödik. A kritikus méret a térfogat — itt zajlanak a reakciók — és az érintkezési felület — itt történik a kapcsolódás — közötti viszonyra vonatkozik. A kritikus méretet tehát a rendszer „integrációs képessége” és azon kémiai mechanizmusok közötti versengés határozza meg, amelyek a fluktuációt a fluktuáló résztartományban felerősítik.

Megtaláltuk az egyik elemét annak a válasznak, amely az ökológiai modellekből kiindulva feltett,<sup>143</sup> a bonyolultság határait firtató kérdésre adható. A számítások azt mutatják, hogy minél bonyolultabb egy rendszer, annál nagyobb az esélye annak, hogy bizonyos fluktuációk veszélyesek legyenek. Hogyan lehetséges az, tették fel a kérdést egyesek, hogy az ökológiai vagy emberi szerveződések bonyolult együtteseik képesek fennmaradni? Hogyan kerülnek el az állandó káoszt? Valószínű, hogy a nagyon bonyolult rendszerek esetében, ahol a fajok vagy egyedek igen különféleképpen hatnak egymásra, a rendszer összes pontjai közötti diffúzió, illetve kommunikáció szintén rendkívül gyors. Így a veszélyes fluktuációk igen magas nukleációs küszöbértéke bizonyosfajta stabilitást ad a rendszernek. Ezek szerint a kommunikációs sebesség határozná meg azt a

maximális bonyolultságot, amelyet egy rendszer szervezettsége elérhet anélkül, hogy túlságosan instabillá válna.

Említsünk meg néhány példát, csak úgy, hevenyészve, melyek alapján remélhetjük, hogy a nukleáció fogalma értelmezhető a társadalmi jelenségek tanulmányozásában. Viszonylag gyakran találkozunk azzal a gondolattal, hogy a társadalmat átrendező újítások némelyike kis létszámú, kitalált, sőt a társadalom többsége által üldözött csoportok terméke, vagyis a kisebbségben lévő, az uralkodó körökhöz képest peremhelyzetű csoportok újítási képességgel rendelkeznek. Másfelől némelyek hangsúlyozzák, hogy az információáramlás korunkat jellemző gyorsasága, az a lehetőség, hogy mindent azonnal mindenki tudomására hozzunk, hozzájárul ahhoz, hogy minden esemény anekdotikus jelentőségű maradjon, s a gondolat alárendelődjék a látványosság és a divat törvényeinek. Végül pedig nem bírunk ellenállni a kísértésnek, hogy idézzünk — továbbra is csupán gondolatébresztő, s nem bizonyítási szándékkal — Gabriel Tarde-nak a pletykára mint a társadalmi erkölcs stabilitásának tényezőjére vonatkozó elemzéséből: „A pletyka társadalmi szerepe óriási. Tegyük fel, hogy egy kis ókori vagy középkori városban nem pletykáltak: vajon fennmaradhattak volna azok az intézmények és örökös elöljárók, amelyek ezeknek a kis államoknak lényegét és erejét adták?... A pletyka folyamatos és kölcsönös inkvizíció, mindenki kémkedik, és mindenki felügyelet alatt áll a nap és az éjszaka minden órájában. A pletykáknak köszönhetően átlátszó üvegből van minden házfal... Az, hogy a nagyvárosok és különösen a modern fővárosok az erkölcsi romlás és a szokások vagy a nemzeti intézmények elfajulásának melegágyai, annak következtében van így, hogy nem pletykálnak bennük.”<sup>144</sup>

Ellenpontként azzal a kérdéssel fejezhetjük be, amelyet manapság igen időszerűvé tesz az információs technika fejlődése: mivé lenne a „demokratikus rendszer” abban a társadalomban, amelyben a kommunikációs eszközök révén lehetővé válna, hogy egy központi képviseleti szerv minden egyes emberrel folyamatosan tartsa a kapcsolatot, vagyis amelyben a kommunikáció sebessége teljes egészében maga alá gyűrné az egyedek helyi nemlineáris kölcsönhatásainak sebességét? Vajon nem egy valószínűtlenül megmerevedett, maradi rendszer jönne-e létre? De ez már nagyon messze visz bennünket azoktól a kérdésektől, amelyekre jelenleg válaszolni tudunk.

### 3. A kinetikai egyenletek stabilitása

A fizikai-kémiai rendszerek nem-egyensúlyi állapotai stabilitásának tanulmányozása szinte elkerülhetetlenül vezetett el odáig, hogy a stabilitásfogalmat kiterjesszük az összetettebb, biológiai, ökológiai vagy társadalmi rendszerekre. Érdeemes ebben a keretben kitérni a stabilitás fogalmát, figyelembe véve, hogy korántsem csak olyan fluktuációk lehetségesek, mint példának okáért az, amelyik a rendszer működésében részt vevő populációk sűrűségét jellemzi.

Először is jegyezzük meg, hogy a biológiai vagy ökológiai rendszerek esetében a környezettel való állandó kölcsönhatás gondolata nemigen tükrözi a valóságot. A sejt, akárcsak az „ökológiai niche”, a környezettől függ, ám ez a környezet változó, és a fluxusok, amelyek fenntartják az egyensúlytól távoli rendszert, fluktuálnak. Modellezési szempontból csak nemrégiben tudták bebizonyítani, hogy külső eredetű fluktuációk, a belső eredetűekhez hasonlóan, képesek új struktúrák létrehozására. Tehát bizonyos pontosan meghatározott körülmények közepette a zaj, a határfeltételekben megegyező esetleges zavar kiváltója lehet a rendezettségnek.<sup>145</sup> A nem-egyensúlyi állapotoknak ez az érzékenysége — nemcsak a belső működésükből származó fluktuációkra, hanem az őket alkotó fluxusok, az őket körülvevő környezet fluktuációira is — alátámasztja azt az elképzelést, hogy a disszipatív struktúra valóban az őt tápláló fluxusok egyedi megjelenése. Ebben az értelemben egyáltalán nem meglepő az a felfedezés, hogy a rendszer működése „adaptív szerveződéssel” rendelkezik, mely a fluktuáló határfeltételek függvénye, hiszen ez csupán egy másik oldala a rendszer környezetbe való beillesztettségének.

Vizsgálat tárgyává tehetünk viszont egy másik instabilitásforrást, egy másik fluktuációs típust. Azok a fluktuációk, amelyeknek hatásait eddig megvizsgáltuk, a rendszernek már meglévő összetevőit vagy a rendszert megszakítás nélkül tápláló fluxusokat érintették. De mi történik akkor, ha ellenőrizhetetlen események (mutációk, technikai újítások) folytán új típusú összetevők jelennek meg, melyek képesek részt venni a rendszer folyamataiban, és segítségükkel el is szaporodhatnak? A stabilitás problémája ezzel a típusú mutációval kapcsolatban a következő: a végtelenül kis mennyiségben megjelenő új összetevők a transzformációs viszonyok új együttesének kialakulá-

sához vezetnek a rendszer összetevőinek körében, s ezek a viszonyok ellentétbe kerülnek a rendszeren belül előzőleg megszilárdult működési móddal. Ha a rendszer kinetikai egyenletei az új jelenség feltűnése ellenére stabilitást mutatnak, az új működési mód nem lesz képes felülkerekedni, az „újító elemek” pedig, melyek szaporodása e működési módtól függ, elpusztulnak. Ha viszont a fluktuáció képes felülkerekedni, ha az „újító elemek” sokasodását kiváltó kinetika elég gyors ahhoz, hogy azok — pusztulás helyett — eláraszák az egész rendszert, és makroszkopikus koncentrációt érjenek el, az egész rendszer új működési módra fog áttérni, működését új kinetikai egyenletek fogják leírni.<sup>146</sup>

A legegyszerűbb példa egy polimerizációval szaporodó makromolekulákból álló populáció egy monomerek (*A* és *B*) által táplált rendszerben. Tegyük fel, hogy a polimerizáció folyamata autokatalitikus: egy már szintetizált polimer mintául szolgál egy ugyanilyen típusú lánc kialakulásához, s ez a szintézis sokkal gyorsabb, mint az, amelyik nem rendelkezik másolható mintával. Minden egyes polimertípust, melyet egy *A*-ból és *B*-ből álló egyedi szekvencia jellemez, egy paraméteregyüttes ír le; ezek a paraméterek a katalitikus másolási szintézis gyorsaságát, a másolat hiteles voltát és magának a makromolekulának az átlagos élettartamát mérik. Kimutatható, hogy bizonyos körülmények között egyfajta, mondjuk *ABABABAB*... szekvenciájú polimertípus uralja a populációt, s hozzá képest a többi polimer csupán fluktuációként jelentkezik. Az egyenletek stabilitásának problémája mindannyiszor felvetődik, amikor egy másolási „hiba” miatt új típusú, eddig nem ismert szekvenciájú és új paraméterekkel jellemzett polimer jelenik meg s kezd szaporodni a rendszerben, versengésbe bocsátkozva a domináns típussal az *A* és *B* monomer felhasználásáért. Egyes esetekben elképzelhető, hogy ezekkel a paraméterekkel felépíthető egy olyan mennyiség, melynek értéke meghatározza e versengés kimenetelét. Ha a mutáns fajtát ennek a domináns típus mennyiségét felülmúló mennyiségnek az értéke jellemzi, akkor felboríthatja az erőviszonyokat, a régebbi domináns típust jelentéktelen koncentrációra korlátozhatja, és új „normává” válhat, amely az összes többi szekvenciát tévedésnek és következmények nélküli eltérésnek nyilvánítja.

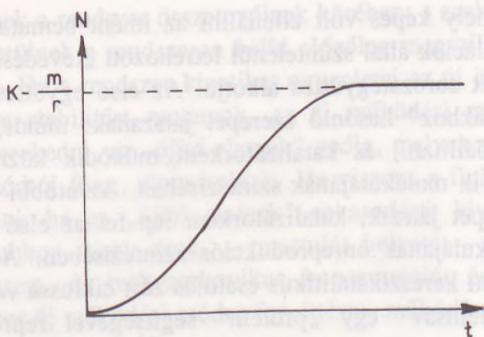
Ez a példa igen fontos, mert kétségkívül a prebiotikai fejlődés motorja volt: s valóban, Eigen<sup>147</sup> kimutatta, hogy létezik olyan rend-

szertípus, mely képes volt ellenállni az imént bemutatott autokatalitikus populációk által szüntelenül létrehozott „tévedéseknek”. Ezt a rendszert két sorozategyüttes alkotja. Az első együttes molekulái a „nukleinsavakhoz” hasonló szerepet játszanak: mindegyikük képes önmagát előállítani, és katalizátorként működik közre a második együttes egyik molekulájának szintézisében. Az utóbbi pedig protein típusú szerepet játszik, katalizátorként lép fel az első együttes egy másik molekulájának önreprodukciós szintézisében. A két sorozategyüttes közti keresztkatalitikus csatolás zárt ciklussá válhat (minden egyes „nukleinsav” egy „protein” segítségével reprodukálja önmagát, s egy másik „protein” szintézisét katalizálja). Ettől kezdve stabil módon fennmaradhat, mentesülve az erőviszonyok állandó megfordulásától és a domináns populáció megváltozásától; ezen a stabil alapon új típusú fejlődés veheti kezdetét, melyben a genetikai kód előfutárát láthatjuk.

Egy másik példa az a versengés, amely egy adott „ökológiai niche”-ért folyik. Nagyon egyszerű példa ez, hiszen — akár az előbbi esetben — a „mutánsok” nem hoznak létre valóban új viszonyokat, hanem csak az „ökológiai niche” kihasználásának, valamint a reprodukció és a túlélés lehetőségét, mennyiségi értelemben különböző módjukat teremtik meg, melyet a paraméterek más értékei, de ugyanazok az (adott esetben gyakorta utólag megalkotott) egyenletek jellemeznek.

Említsük meg — hiszen az elméleti ökológia egyik klaszikus egyenlete — azt az egyenletet, amely egy populáció változását adja meg ökológiailag stabil környezetben. Az összetevőinek  $N$  mennyiségével jellemzett populáció  $r$  arányban reprodukálódik, míg elhalási arányszáma  $m$ . A populáció növekedését másfelől a rendelkezésre álló erőforrások mennyisége korlátozza, melyet a  $K$  változó ad meg:  $dN/dt = rN(K - N) - mN$ . Egy bizonyos — ebben az igen egyszerű esetben a három állandó meghatározott értéke által leírt — populációra nézve a populáció növekedését egy úgynevezett logisztikus görbe írja le, mely aszimptotikusan tart egy  $N = K - m/r$  érték felé. Amikor a populáció elérte ezt az értéket, a környezet telítődik, és átlagban ugyanannyi  $N$  születik és pusztul el minden egyes pillanatban (9. ábra).

Egy statikus stacionárius állapot felé tartó ökológiai világ szokásos képe lebeg előttünk. Ám nem ez a modell tanulsága, hiszen

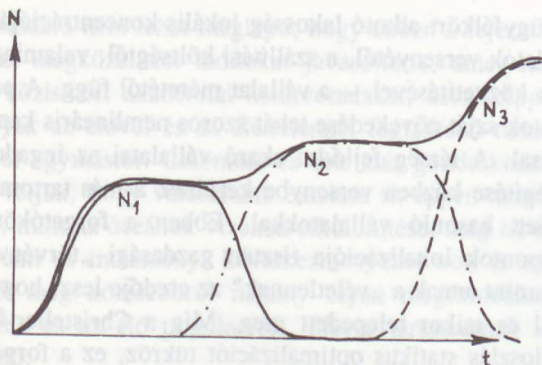


9. ábra Logisztikus görbe. Az  $N = 0$  stacionárius állapot instabil. Az  $N = K - m/r$  állapot stabil  $N$  fluktuációira nézve

hosszú távú fejlődés esetében a növekedési egyenlet — hiszen a populációt nem kárhóztatja ilyen invariáns egyensúlyra — lehetővé teszi, hogy elvileg határtalan, stabil optimum nélküli fejlődést tegyünk meg vizsgálatunk tárgyává, olyan fejlődést, mellyel kapcsolatban nem beszélhetünk sem célról, sem célszerűségről.

A biológiai fejlődés ténylegesen azt bizonyítja, hogy a  $K$ ,  $r$  és  $m$  ökológiai paraméterek értékei lényegileg változók, az élő társadalmak pedig szüntelenül új és új módokat találnak a fellelhető erőforrások kiaknázására és új erőforrások felfedezésére ( $K$  növekszik), állandóan új eszközöket találnak az élet meghosszabbítására vagy a gyorsabb szaporodásra. Az elérhető érték tehát mindig ideiglenes, és az „ökológiai niche”-ben egymás után telepednek meg azok a típusok, amelyek mindegyike képes az előző helyébe lépni, ha  $K - m/r$  mennyiséggel mért „képessége” az „ökológiai niche” kiaknázására felülmúlja elődjét. Nézzük meg „a legrátermettebb fennmaradásának”, e darwini gondolatnak a mennyiségi értelmezését egy rendkívül egyszerű esetben, amikor a probléma egy adott „ökológiai niche” kiaknázására korlátozódik (10. ábra).

Figyelemre méltó, hogy ugyanaz a görbe, amely a növekedési szakaszok és a felső értékek egymásutánját mutatja, számos esetben bizonyos technikai eljárások megsokszorozódását is leírhatja. Azt mondhatnánk, hogy ekkor egy új technika vagy új termék felfedezése, illetve forgalomba hozatala esetleg megtör egy fennálló társadalmi, technikai vagy gazdasági „egyensúlyt”, amelyet azoknak a technikáknak vagy termékeknek a növekedési görbéje által elért felső



10. ábra A  $K - m/r$  mennyiség stacionárius állapotainak sorozata az  $N_1, N_2, N_3$  növekvő értékekkel jellemzett populációkra

érték határoz meg, amelyekkel az újítás versenyezni fog.<sup>148</sup> Vegyünk egy példát a sok közül: a gőzhajók számának növekedése nemcsak a vitorláshajók nagy részének eltűnését okozta, hanem — csökkentve a szállítási költségeket és növelve a gyorsaságot — maga után vonta a tengeri szállítás iránti igény, tehát a hajószám növekedését is. Akár csak ökológiai példáinkban, itt is igen egyszerű helyzettel van dolgunk, hiszen az újítás kimerül abban, hogy eltérő módon elégít ki egy már létező szükségletet. Az ökológiában ugyanúgy, mint az emberi társadalmakban, rengeteg újítás előzetes „fészek” nélkül gyökeredzik meg: átalakítja a közeget, amelyben megjelenik, és megerősödése arányában teremti meg szaporodása feltételeit, az „ökológiai niche”-t.

Hasonló gondolatmenet alapján állítottak össze Brüsszelben egy forgatókönyvet, mely a regionális városfejlődés dinamikáját a gazdasági „racionalitás” hipotéziseiből kiindulva írja le. Ezek a hipotézisek megfelelnek a földrajztudós Christeller modelljének, mely a gazdasági tevékenység központjainak optimális hierarchikus eloszlását mutatja be (összemérhető fontosságú városok hatos hálózata ez, melyek mindegyikét a hierarchikusan közvetlenül alatta lévő városok ugyancsak hattagú koronája veszi körül és így tovább). Jelen esetben a logisztikus típusú egyenletrendszer egy populáció növekedési felső értékét az adott tartományban azoknak a vállalatoknak a fontosságától teszi függővé, amelyek ott megtelepedtek. A vállalatok pedig a termékeik iránti kereslet függvényében növekednek, ami viszont a

lehetséges ügyfélkört alkotó lakosság lokális koncentrációjától, a hasonló vállalatok versenyétől, a szállítási költségtől, valamint — a termék árának közvetítésével — a vállalat méretétől függ. A populációk és a vállalatok saját növekedése tehát szoros nemlineáris kapcsolatban áll egymással. A térség fejlődni akaró vállalatai az ingadozó szükséglet kielégítése közben versenybe kerülnek a más tartományokban megtelepedett hasonló vállalatokkal. Ebben a forgatókönyvben a városi központok lokalizációja tisztán gazdasági „törvények” játékanak, valamint annak a „véletlennek” az eredője lesz, hogy az adott vállalat hol és mikor telepedett meg. Míg a Christeller-féle szimmetrikus eloszlás statikus optimalizációt tükröz, ez a forgatókönyv, melynek segítségével lehetővé válik a vállalatok növekedésének, egymás mellett élésének és tönkremenetelének figyelemmel követése, a *szimmetria megtöréseit*, kis különbségek felerősödését, a földrajzi különbségek létrejöttének megannyi lehetséges történetét írja le.<sup>149</sup>

Általánosságban azt mondhatjuk, hogy az újítás ugyan szelekció eredménye, de azt az a környezet hajtja végre, amelynek létrejöttében a szelekció is részt vállal. Az evolúciós folyamat mozgatója tehát nem a szelekciós nyomás, s logikája nem esik tisztán és egyszerűen egybe a környezet követelményeinek logikájával.<sup>150</sup>

A biológiai evolúció más jellegzetes helyzeteit is felderíthetjük nagyon egyszerű modellek segítségével. Például kiszámítható, hogy a fajok egyetlen erőforrásért folytatott küzdelmében melyek azok a feltételek, amelyek az egyik fajt hozzásegítik a győzelemhez a másik felett, ha populációjának egy töredéke háborús és nem termelő tevékenységre szakosodik („katonák” a társadalomban élő rovaroknál). Azt is meghatározhatjuk, hogy az a faj, amelyik szakosodik, és szűkíti élelmiszerforrásainak választékát, milyen típusú környezetben maradna fenn jobban, mint egy nem specializálódott faj, amelyik kevésbé gazdaságosan használ fel változatosabb erőforrásokat. Végül pedig ama rendszer stabilitásának követelménye, amelyet egy zsákmányállatokból álló, az adott környezet erőforrásaiból élő populáció, valamint egy ragadozókból álló, az első populációból élő populáció alkot, lehetővé teszi, hogy megjósoljunk bizonyos hosszú távú evolúciós irányokat, és így előre megmondjuk, mely újítások járulhatnak hozzá a rendszer fejlődéséhez annak elpusztítása, a populációk kihalála nélkül.<sup>151</sup>



Senki számára nem lehet meglepő, hogy ebben a fejezetben mindig olyan megközelítési módokat javasoltunk, amelyek nemigen tisztelik a közismert akadémiai határvonalakat, kiváltképpen azokat nem, amelyek az élővel és az élettelenel foglalkozó tudományokat választják el egymástól. Leibnizet és sok más gondolkodót követve mi is úgy véljük, hogy válaszfalak emelése itt éppen annyira hiábavaló dolog, mint az óceánok vizének elkülönítése, még ha ez a cselekedet szellemi és intézményi következményeket von is maga után. Vizsgáljunk meg közelebbről néhány olyan megfontolást, mely a fizikai kémia és az élő populációk, illetve társadalmak kommunikációját illeti.

Először is szögezzük le, hogy ez a kommunikáció nem egyirányú. Tehát a disszipatív struktúrákról és a velük járó válság- és instabilitásfoglalomról elmondhatjuk, hogy visszhangjuk még a fizika területén sem független attól az érdeklődéstől, amelyet ezek a fogalmak korunk kultúrájában keltettek. Ráadásul ha a biokémia nem derítette volna fel az anyagcsere útjait sokszoros nemlinearitásukkal egyetemben, a megfelelő stacionárius állapot instabilitására vonatkozó, a termodinamika által bevezetett nemlinearitási feltétel túlságosan kényszerítőnek tűnt volna fel: a nemlinearitások akkoriban gyakorlatilag ismeretlenek voltak a szerves világban.

Az egyensúlyi — mechanikai, majd termodinamikai — állapotok tanulmányozása már a XIX. század végétől termékeny visszhangra talált a biológiában és a társadalomtudományokban. Itt is felesleges hangsúlyozni, hogy az egyensúlyfogalom értelmi és érzelmi töltése nem Bernoulli, d'Alembert, Euler és Lagrange matematikai tudományából ered, hanem az egészen más területekről származó rendezettség- és harmóniagondolatból. S ugyanezek a gondolatok járultak hozzá a fizika és matematika módszereihez, amikor azok végül meggyökereszkedtek a biológiában, a gazdaságtanban és a szociológiában.

Ismeretes, hogy újabban milyen termékeny módon hasznosították a diszkrét matematikát, s hogy gazdag ihletforrásul szolgáltak a különféle információelméletek. Már sokat beszéltünk a világot a varázslat alól feloldó fizikáról, mely tagadta a világ összetett voltát és sokféleségét. Ám az információelmélet egy „elvarázsolt” világnak bukkan nyomára, megfejtve a természetben továbbított értelmes üzeneteket. Az „együttes fejlődés” modelljei, amelyekben látható vagy

vegyi üzenetek indulnak útnak (ezek az üzenetek el is veszíthetik jelentésüket, ha kalóz jelfogók vagy jelkibocsátók elfogják őket)<sup>152</sup> — a rákkutatás és az immunológia tárgyát, mint kiderült, a sejtek közötti kommunikáció bonyolult együttese alkotják — sok más példa mellett arról tanúskodnak, hogy a kommunikációelmélet még csak a kezdeteknél tart, különösen akkor, ha összekapcsoljuk a kommunikáló populációkat „szóra bíró” vonatkozó vizsgálódásokkal.

Ha tisztázni akarjuk, hogy mi újat is hoztak az olyan fogalmak, mint amilyen a nemlinearitás, instabilitás, kis eltérések felerősödése, akkor először is ki kell emelnünk, hogy a társadalomtudományok nem vártak a fizikára ahhoz, hogy az általunk bevezetett nézőpontból írjanak le bizonyos folyamat típusokat. Hadd utaljunk ebből a szemszögből a gyakorta statikusnak minősített „strukturálisizmusra”, nevezetesen a *Bevezetés az általános nyelvészetbe* utolsó fejezeteire, ahol Saussure leírja, hogyan terjednek a „nyelvi hullámok”, amelyek két erőnek, a kommunikációkat létrehozó „intercourse”-nak és a helyi sajátosságokat fenntartó „harangtorony-szemléletnek” engedelmeskednek. A más kultúrákhoz fűződő kapcsolatokban jelentkező nyugati dinamizmuson való töprengéseiben Lévi-Strauss ugyanilyen természetesen szerepeltet a természettudományokban használatos fogalmakat. Megemlítendő az iparosodás folyamata, amely belső tagolódáshoz (szimmetriatörésekhez) vezető öngyorsító folyamatként (láncreakcióként) jelentkezik, olyan folyamatként, amely nyitott azon rendszerek felé, amelyek bizonyos körfolyamatait táplálták és ettől visszafordíthatatlanul módosultak. Helyzete folytán az etnológus joggal írhatja, hogy „Az alulfejlettnak mondott társadalmak és a gépi civilizáció különös viszonya főleg abban áll, hogy az előbbieken a civilizáció saját termékét, vagy pontosabban annak a pusztításnak az ellentételezését találja meg, amelyet saját maga követett el bennük abból a célból, hogy önnön valóságát felépítse.”<sup>153</sup>

A strukturális antropológiának a rokonság elemi struktúráit leíró elméletei, akárcsak mítoszértelmezése — mikor is az átalakulások a kristály növekedésére emlékeztetnek — mindenesetre a véges logika és matematika azon eszközeit használták fel, amelyekkel diszkrét elemeket számolunk, osztunk szét és társítunk egymással, nem pedig azokat, amelyek a változást sok elemű és kaotikus populációkat érintő folyamatként elemzik. Itt bizony két különböző nézőponttal van dolgunk, melyek megfelelnek Lévi-Strauss „mechanikus” és

„statisztikai” modelljének. A mechanikus modellben „az elemek egybeesnek a jelenségekkel”, és — például — az egyéni viselkedések megfelelnek azoknak az előírásoknak, amelyek a társadalom átfogó szervezettségét biztosítják. Ebben rejlik azoknak a viselkedéseknek a logikája, amelyeket az etnológia szeretne megfejteni. A szociológus ellenben statisztikai modellekkel dolgozik, ezért átlag- és küszöbértékeket kell meghatározni.<sup>154</sup>

A mechanikus modell csupán modell — Arisztotelész követője azt mondaná, hogy valami olyasmit ábrázol, ami felé bizonyos szervezetek működése tart, mint ahogy például egy minisztériumban az egyes hivatalnokoktól nem várnak többet, mint azt, hogy teljesítsék a szervezeti rendből rájuk háruló feladatokat. A természetek és más, szintén társadalomban élő rovarok viszont mintha csaknem teljesen megfelelnek a statisztikai modell eszményeknek. Nem az egésze vonatkozó előírásoknak vagy információknak engedelmessé válnak, hanem csak egyedek közötti kölcsönhatások fordulnak elő körükben: előnyben részesítenek vagy gátolnak bizonyosfajta viselkedéseket. A leírás tehát eleve az átlagra vonatkozik, és a kérdés pusztán az, hogy — például — hol van az a küszöb, amelytől kezdve az egyedi kölcsönhatások együttese sajátos hatást gyakorolhat a populáció egészére. Világosan elkülönül tehát egymástól a helyi leírás szintje, ahol a viselkedés sztochasztikusnak tekinthető, és az átfogó, definíciója szerint sok elemből álló szint, ahol társas viselkedés alakulhat ki.

Nagy a távolság a nézőpontba illesztés — ezt kíséreltük meg — és egy általános társadalomelmélet között, s ezt a távolságot nem is áll szándékunkban áthidalni. Csak egyvalamit tudunk: a nemlineáris kölcsönhatások jelenléte egy populációban meghatározza a változás különös típusainak lehetőségét (hólabda-effektus, járványszerű terjedés, tagolódás kis különbségek felerősödése útján), és ez bármilyen populációra érvényes. Felvetődik néhány kérdés: Mely események, újítások maradnak következmények nélkül, melyek befolyásolhatják az átfogó működést, és melyek taszíthatnak egy megfordíthatatlan változás irányába? Hol helyezkednek el a választás és a stabilitás területei? S annak mértékében, ahogyan például a rendszer mérete vagy sűrűsége az elágazási paraméter szerepét játszhatja, hogyan nyithatja meg az utat egy pusztán mennyiségi növekedés minőségileg új lehetőségek felé?

Sok kérdésre nincs még válasz, különösen arra nincs, amelyik annak a változásnak a leírására vonatkozik, amelynek jóvoltából az eseményekből álló populáció „mechanikusabbá” válik. Példának okáért miképpen kerülnek kitüntetett helyzetbe egyes utak az anyagcsere-reakciók sebességét és szabályozását meghatározó genetikai információ szelekciója során, olyannyira, hogy a fejlődés célirányosnak vagy egy üzenet lefordításának látszik? Itt ráismerhetünk Waddington „kreódjainak” problémájára, a biztonság és a rugalmasság kettős követelményével egyetemben. Erről nem szabad elfeledkeznünk, hiszen kellemetlen következményekkel járna, ha összekevernénk a biológiai fejlődést azokkal a változásokkal, amelyek nem egy hosszú történelem újabb epizódjai, s ezért útirányuk vagy végcéljük sincs. A szerveződés problémái, különösképpen azoknak a helyzeteknek a problémája, amelyekben statisztika és mechanika összekapcsolódik — vagyis ahol a helyi kölcsönhatások együtt léteznek az átfogó információval —, csak olyan térben vethetők fel, amelyben az ilyenfajta különbségtételek már világos megfogalmazást nyertek.

#### *4. Véletlen és szükségszerűség*

Mint ahogy többször is megmutattuk, a fluktuációs rendezettség elvezet a véletlen és a szükségszerűség, az erőszakos újítás és a rendszernek erre adott válasza közti összjáték vizsgálatához, s ezáltal különbség tehető a rendszer azon állapotai, amelyekben mindenféle egyéni kezdeményezés jelentéktelenné válik, valamint az elágazási zónák között, amelyekben egy egyén, gondolat vagy új viselkedés felboríthatja az átlagos állapotot. Nem bármelyik egyén, gondolat vagy viselkedés teheti ezt meg, hanem csak azok, amelyek „veszélyesek”, amelyek képesek hasznukra fordítani a régebbi átlagos állapot stabilitását biztosító nemlineáris viszonyokat: az egyszerű modellekben ugyanezek a nemlinearitások hoznak létre az elemi folyamatok káoszából meghatározott rendet, és más körülmények között ugyanezek dönthetnek e rend esetleges lerombolásáról és — egy újabb elágazás révén — egy másik működési rend megjelenéséről.

A fluktuációs rendezettség fogalma nem engedi meg véletlen és szükségszerűség szembeállítását, és így nem is tételezi föl a szocio-

lógiai iskolákban többnyire hagyományos különbségtételt funkcionális és diszfunkcionális között. E különbségtétel szerint, ami az egyik pillanatban mint a normális viselkedéstől való jelentéktelen eltérés nyilvánul meg, az más körülmények között válság és megújulás forrása lehet. Ha a fluktuációs rendezettség modelljeiből megtudhatunk valamit, akkor az az, hogy minden norma választás eredménye, és tartalmaz egy véletlen, de nem önkényes elemet is. Az a tény, hogy egy szerveződés vagy működési rend nem vezethető le szükségszerűségként, és mindig ki van szolgáltatva egy fluktuációnak — hangsúlyozzuk —, nem jelenti azt, hogy önkényes jellegű lenne. Samuel Butler velős mondása szerint: „*Nothing is ever merely anything*”.<sup>155</sup> Valamely általános törvényből nem levezethető szerveződés vagy működési rend mindenképpen *számítás* eredménye abban a természetben, amelyben a stabil makroszkopikus folyamatokat rendezetlen folyamatok sokasága hozza létre, és bizonyos feltételek megléte esetén ezek ki vannak szolgáltatva az őket létrehozó fluktuáló aktivitásnak.

Már többször emlegettük a „véletlent” és a „szükségszerűséget”. Ezek a kifejezések természetes módon visszavezetnek bennünket arra a területre, amellyel kapcsolatban a legnagyobb pontossággal vitatták meg az evolúció kérdéskörét: a biológia területére. Abban a nagyon szép könyvben, amelyben a molekuláris biológia felfedezéseinek filozófiai horderejét magyarázza, Jacques Monod levonja azt a következtetést, mely szerint a biológiai fejlődés és az ember, aki e fejlődésből született, a véletlen — a mutációk véletlenje — és a szükségszerűség — a fizika, valamint a természetes kiválasztódás statisztikai törvényeinek szükségszerűsége — terméke. Tehát felújítja Darwin korábbi felfedezését, bizonyos egyedi és valószínűtlen események — mint például a környezethez jobban alkalmazkodó faj megjelenése — döntő befolyásának tételét, ám teszi mindezt komor felhanggal: a „normális” — a természet törvényeiből levezethető — Világegyetem élettelen univerzum. Az egyedül megjósolható és megismételhető törvények a halál és az élettelen anyagba való visszatérés törvényei, mint például a kristályá alakulás, melyet Monod mindenfajta morfogenezis alapelvének tart. A véletlen — a genetikai kód megjelenésének statisztikai csodája és az előnyös mutációk egymásutánja — tehát ellentmond a természetes rendnek. A véletlen az élőt kiszakítja a természet élettelen rendjéből, és halálraítéltet csinál belőle, aki az

ítélet végrehajtására vár az Univerzum határvidékén, ahol csupán önkényes egyediséget képvisel.

Hála Monod éleslátásának, megfogalmazhatjuk, hogy miben is áll a mai tudomány által kialakított fogalmi helyzet rendkívüli stabilitása. Értelmezése szerint a mai biológia a klasszikus tudomány végső kifejeződése: igazolni látszik a biológust, aki azt állítja, hogy az élő összetettség lebomlása egyszerű viselkedésű összetevőire elégséges elv. A biológus — hogy ne legyen szüksége a biológiai szerveződés és átalakulásai tényeken nyugvó elméletére — úgy véli, hogy amit Stahl „az anyag közös törvényeinek”, vagyis az egyszerű viselkedésformákat leíró általános törvényeknek nevezett, elvileg kimeríti mindazt, ami az élő anyagban megértésre vár és érdemes. „A laboratóriumokban ma már nem tesznek fel kérdéseket az életre vonatkozólag” — írta Jacob.<sup>156</sup> És valóban, az élő rendszerek vizsgálata mintha teljesen kiszorítaná a tudományból az „élő” fogalmának tisztázását.

Így a biológus szemében az ember s vele együtt az élő anyag egész világa újra ugyanabba a külsődleges helyzetbe kerül, amelybe a klasszikus tudomány kényszerítette s egyszersmind emelte. Abban az önsanyargató szigorúságban, amelyre Monod szólít fel bennünket, óhatatlanul újra felbukkan azoknak a gögös alázata, felvállalt félreszorítottsága, akik lerombolták a régebbi harmonikus és központosított világot, a földgolyót kivetették a végtelen terekbe, ám ők saját természetén kívüli szubjektivitásuk erkölcsi magaslatra emelésében egy újabb bizonyosság alapját találták meg. S az embert újra ugyanaz az — ezúttal fonák — viszony fűzi a világhoz: Ugyan ki — hacsak nem egy természetfölötti lélek — volna képes saját magát a világtól idegennek tudni és mondani? Hogyan is volna képes erre az atomok egy véletlenszerű halmaza?

Jacques Monod *Le Hasard et la nécessité* című művét tehát úgy olvashatjuk, mint a biológia helyzetének összefoglalását a klasszikus fizika gondolati közegében, melyben a kezdeti feltételek különös volta és az evolúciós törvények determinisztikus egyetemessége ütközik egymással, s ahol az egyetlen megjósolható és megismételhető makroszkopikus fejlődési törvény az egyensúly felé tartó változásnak és minden átfogó működés eltűnésének a törvénye. Látható, hogy a biológia ugyanabban a helyzetben van, mint amelyet Stahl elemzett. Ő már tisztában volt azzal, hogy az anyag törvényei nem az életnek, hanem a halálnak, nem az élő szerveződésnek, hanem ezen instabil

szerveződés lebomlásának, a romlásnak és rothadásnak a megértését jelentik. Ott, ahol Stahl a lélek szervező tevékenységét látta, a molekuláris biológia a genetikai kód, a nukleinsavban lévő és enzim-fehérjék alakjában megjelenő információ kifejeződéseit fürkészi, melyekben maga a véletlen őrződött meg, nemzedékről nemzedékre gazdagodva a kevés előnyös mutáció emlékével. Valóban az enzimek vetnek gátat rövid ideig a halálnak, s jelenítik meg az általuk létrehozott makroszkopikus szerveződés statisztikai csodájában azoknak a statisztikai csodáknak az egymásutánját, amelyekből maguk is származnak.

A megfordíthatatlan folyamatok fizikájának új gondolati közegeben a biológia eredményeinek természetesen igen különböző a fontossága, és következményei is eltérőek. Igaz, hogy az egyedüli egyetemes makroszkopikus törvények azok a törvények, amelyek a rendezetlenség, az egyensúlyi vagy egyensúlyhoz közeli állapotok felé való fejlődést írják le, de ezek a fizikai törvények nem alkotnak olyan összefüggést, melyhez képest az élő anyag meghatározható lenne: nem azért, mert élő, hanem azért, mert fizikailag nem tesz eleget e törvények alkalmazási feltételeinek, azoknak a feltételeknek, amelyek megléte esetén e törvények helytállónak bizonyulnak. Az élő anyag az egyensúlytól távol működik, olyan területen, ahol az entrópia növekedésének következményei már nem értelmezhetők a Boltzmann-féle rendezettség elvvel. Ezen a területen az entrópiatermelő folyamatok, az energiát szétoszlató folyamatok építő szerepet játszanak, a rendezettség forrásai. Az egyetemes törvény gondolata helyébe itt az egyedi stabilitások és instabilitások egymásutánjának törvénye kerül, az az ellentét pedig, amely a különös kiindulási helyzetek véletlenje és az általuk meghatározott általános fejlődési irány között feszül, helyt ad az elágazási és stabilitási zónák egymás mellett élésének, az ellenőrizhetetlen fluktuációk és a determinisztikus átlagtörvények dialektikájának.

Így nincs többé szükség a Monod javasolta választásra egy animista világ, mely mindig is az ember — e világ fejlődésének végcélja és kulcsa — felbukkanására várt, és azon néma világ között, amelyben az ember idegen. A világ egészen bizonyosan sem nem szólította, sem nem várta az embert a maga egyediségében. Ha viszont az életet az anyag önszerveződő jelenségének tekintjük, amely egyre összetettebb állapotok felé fejlődik, akkor jól meghatározott és nem

kivételesen ritka körülmények között az élet megjelenése megjósolható a Világegyetemben, ahol éppoly „természetes” jelenségnek számít, mint a súlyos testek esése.

Igen messze vagyunk attól, hogy választ adhassunk az egyensúlytól távoli rendszerként felfogott élő anyag elképzeléséből fakadó kérdésekre. Egyelőre csak e kérdések megfogalmazásánál vagy újrafogalmazásánál tartunk.

Tudjuk például, hogy a molekuláris biológia az élet kialakulását a proteinek és a nukleinsavak összekapcsolódásával magyarázza. De ezt az összekapcsolódást és magát a genetikai kódot is nem egy globális tér- és időszerveződés gondolati közegében kell-e inkább felfognunk? Ebben az esetben az egyensúlytól távolmaradás lényegi kérdéssé válik az élet kialakulása szempontjából. Ám ami a hosszú fejlődés eredményeként kialakuló élőlényt illeti, gondosan különbséget kell tennünk a „forró pontok” — a gyors anyagcsere-átalakulások rendszerei és a sejtek közötti erőteljes kölcsönhatások —, valamint az egyensúly közelében maradó „raktárak” és a halott kristálystruktúrák között. Az élőlény nem egyenlő mértékben él bárhol. Annyit mondani róla, hogy az egyensúlytól távol működik, legalábbis nem kielégítő.

Problémánk tehát nem az, hogy az élőt valamiféle egységes leírással ragadjuk meg, hanem hogy megtanuljuk leírni a természeti folyamatok „politikai gazdaságtanát”, hogy megtudjuk, miképpen raktározódik, alakul át és oszlik el az energia, az anyag, az információ. S minden okunk megvan arra, hogy azt gondoljuk, a természet politikai gazdaságtana igen távol fog állni a munkamegosztás és a harmonikus, központosított irányítás nyugalmas modelljeitől, amelyekhez oly sokáig kapcsolódott a szervezet képzete. Egy szép napon talán a rákos sejtek többé-kevésbé ellenőrzött burjánzása vagy az antitestek termelése fogja kiszorítani helyéből az élő anyag „funkcióinak” megnyugtató, régebbi elképzelését.<sup>157</sup>

De meg kell vizsgálnunk egy másik kérdést is. Azt mondtuk, hogy az élet éppen olyan „természetes” jelenségnek mutatkozik, mint a testek esése. Önszerveződés és testek esése — vajon mi közös lehet ebben a két természeti jelenségben? Mi a kapcsolat a dinamika, az erők és mozgáspályák tudománya, valamint a bonyolultság és fejlődés tudománya, az élő folyamatok és a belőlük összetevődő természeti változás tudománya között? A XIX. század végén a megfordít-



hatatlanságot a súrlódás, viszkozitás, felmelegedés jelenségéhez kapcsolták, s így az energiaveszteség és -pazarlás okának tartották, mely ellen a mérnökök hadakoztak. Ezért fenntartható volt az a feltevés, hogy csupán másodlagos jelenségről van szó, mely beavatkozásunk ügyetlenségéből, gépezeteink elnagyoltságából származik, és a természetre — a dinamikai elképzelés szerint — alapvetően a megfordíthatóság a jellemző. Ám ez a feltevés ma már nem tartható: a megfordíthatatlan folyamatok építő szerepet játszanak. A bonyolult és tevékeny természet folyamatai — saját életünk — csak azért lehetségesek, mert az őket tápláló szüntelen fluxusok távol tartják őket az egyensúlytól.

Így nem kerülhető meg a kérdés: Mi a kapcsolat a bonyolultság eme új tudománya és az egyszerű elemi viselkedésformák tudománya között? Milyen viszonyban áll egymással e kétféle tudományból következő két teljesen különböző természetszemlélet? Miképpen tudnánk összekapcsolni egymással a két szintet, az elemi szintet és a bonyolultság szintjét, a mozgáspályákat és a kémiai affinitásokat? Hogyan fogalmazhatjuk meg a természet bonyolult és sokszínű egységét ebből az egymástól szakadékkal elválasztott két leírásból kiindulva? Milyen kapcsolatban állhatnak egymással az általános, determinisztikus newtoni törvények és az az elméleti leírás, amelyhez elérkeztünk, s amelyben összekapcsolódik a statisztikai determinizmus az ellenőrizhetetlen fluktuációk véletlenjével?

Bizonyos értelemben ismét az újkori tudomány hajnalát látjuk, éppúgy, mint amikor Newton azt leste, hogy mivé alakul az olvasztókemencében az anyag, és a kémiai vegyületek társas életét próbálta elemezni. Az első, a newtoni szintézis nem lehetett teljes: az egyetemes kölcsönhatás ereje, melynek hatását a dinamika írja le, képtelen megmagyarázni az anyag összetett és megfordíthatatlan viselkedését. Mint Newton korában, két tudomány ütközik egymással: a gravitáció időtlen és törvényszerű természetet leíró tudománya a tűz tudományával, a kémiával. Már idéztük a régi mondást: *Ignis mutat res* — a vegyi anyagok a tűz, a megfordíthatatlan változás termékei. Hogyan lehetne áthidalni azt a szakadékot, amely az összetett folyamatok ideje és az azonos törvényre visszavezetett idő, a változás tudománya és a lét tudománya között húzódik, amely mindenben szemben áll egymással, s amely mégis ugyanazt a világot írja le?



## VII. Doktrínák ütközése

### 1. A Boltzmann-féle átörés

#### Harmadik könyv

#### A létezésről az átalakulásig

Whichhead írta: *„A diszaster, if it is an opportunity.”* <sup>1</sup> Ha ez igaz, akkor a mikrofizikában, kevésbé a makrofizikában, a diszaster lehet egy lehetőség. A világ két olyan világ között van, amelyek egymással, egymáshoz képest mértékadóan közönségesek.

Hogyan lehetne jellemezni a klasszikus dinamika által leírt univerzumot? Olyan univerzumot ez, amelyben az alapvető leírás minden tekintetben minden átalakulás az anyag térbeli mozgásán vezethető le. A világ dinamikus valósága tehát a pálya fogalma körül összpontosul.

Ha le akarunk írni egy pályát, két különböző típusú adatot kell megadnunk: szükségünk van a pálya általános leírására, amely meghatározza a rendszernek bármelyik két egymással szembe fordított pillanatnyi állapot körül az egyébként a rendszer valós állapota, és szükségünk van a rendszer bármelyik pillanatnyi állapotjának teljes leírására. A törvény alkalmas arra, hogy a pályából az állapotból kitudtassa állapotot állapotra, azaz a múltból a jövő irányába válassza. A dinamika törvényeinek segítségével, valamilyen állapotunkból a közvetlenül megelőző állapotot úgy írja, mint a következőt, mint a következőt. A törvények és a múltak a dinamikaiban pontosan ugyanazok a törvények, amelyek szerepe sem — jut. Ha a pillanatnyi állapot az állapotunk helyzetével és sebességével határozható meg, akkor minden esetben rajtuk a rendszer mutja az újat: minden egyes állapot egyértelműen lehet kitudtassa vagy kitudtassa az állapotunk helyzetével határozható állapot. Ahogy Bergson mondta, minden egyes pillanatban



## VII. Doktrínák ütközése

### 1. A Boltzmann-féle áttörés

Whitehead írta: „*A clash of doctrines is not a disaster, it is an opportunity.*”.<sup>158</sup> Ha ez igaz, akkor a tudománytörténetnek kevés ilyen ígéretes alkalommal lehetett dolga, hiszen az ütközés kemény dolog: két olyan világ ütközik egymással, amelyekben látszatra semmi közös nincs.

Hogyan lehetne jellemezni a klasszikus dinamika által leírt univerzumot? Olyan univerzum ez, amelyben az alapvető leírás szintjéről tekintve minden átalakulás az anyag térbeli mozgására vezethető vissza, ez a mozgás pedig a pálya fogalmával írható le. A világ dinamikai valósága tehát a pálya fogalma körül összpontosul.

Ha le akarunk írni egy pályát, két különböző típusú adatot kell egyidejűleg ismernünk: szükségünk van a pálya általános törvényére, arra, amely meghatározza a rendszernek bármelyik két egymást követő pillanatnyi állapota közül az egyikből a másikba való átmenetét, és szükségünk van a rendszer bármelyik pillanatnyi állapotának teljes leírására. A törvény alkalmazása lehetővé teszi, hogy a pálya ebből az állapotból kiindulva állapotról állapotra haladva akár a múlt, akár a jövő irányába változzék. A dinamikai törvény *megfordítható* törvény, valamely állapot átmenetét a közvetlenül megelőző állapotba éppúgy leírja, mint a közvetlenül utána következőbe. A jövőnek és a múltnak a dinamikában pontosan ugyanaz a szerep — vagyis semmiféle szerep sem — jut. Ha a pillanatnyi állapotot az alkotó részecskék helyzetével és sebességével határozzuk meg, akkor ebben benne rejlik a rendszer múltja és jövője; minden egyes állapot egyformán lehetne kiindulási vagy hosszú fejlődés eredményeképpen kialakuló állapot. Ahogy Bergson mondta, minden egyes pillanatban

adott minden, a változás nem más, mint alapvetően egyenértékű állapotok sorozatának kibomlása.

Később majd látni fogjuk ennek a felfogásnak a gyenge pontját, azt a meglepő helyzetet, hogy bizonyos esetekben a pálya kezdeti feltételei meghatározottságának a gondolata ellentmondásba kerül a dinamikai törvény következményeivel. De ez a felfedezés egészen újkeletű. Mindeddig úgy látszott, hogy a dinamika *kikényszeríti* a newtoni idealizációt, a determinisztikus pályák segítségével leírt statikus univerzum gondolatát, amely együtt járt az *alapvető leírási szint* gondolatával, amely viszont azt vonta maga után, hogy az erre a szintre visszavezetett — bármilyen összetett — természeti átalakulások egyszerűként jelentek meg. E klasszikus felfogás értelmében azt kellene mondanunk, hogy az összetett folyamatok lényegileg nem különböznek az egyszerű pályáktól (példa lehet erre a bolygópályák esete). Igaz, a bonyolult rendszer kölcsönhatásainak és szabadságfokainak hatalmas száma a gyakorlatban számítási nehézségeket okozhat, de maguk a törvények egyetemesek — *ugyanúgy* érvényesülnek bármilyen nagyságrendben, függetlenül a tömegektől és a távolságoktól —, és *elégéségesek is*, hiszen végső és egyetlen teljes magyarázatát adják az összes természeti átalakulásnak.

Mint ahogy meg fogjuk látni, a helyzet — elismerve persze forradalmi vonásait — a kvantummechanikával sem változott meg. A pálya fogalmának helyébe a „hullámcsomag” (vagy hullámfüggvény) lépett, de a hullámcsomag mozgása ugyanúgy megfordítható: a jelenből ugyanúgy — és szimmetrikusan — következik a jövő és a múlt.

Nehéz kiáltóbb ellentétet elképzelni azzal a világgal, amelyet az általunk fluktuációs rendezettségnek nevezett valamiből származó fogalmak írnak le. A dinamikai pályák az anyagot átalakító folyamatokkal — kémiai reakciókkal, kondukcióval, radioaktív bomlásokkal — állnak párhuzamban, a dinamikai törvények megfordíthatósága pedig annak az entrópiánövekedésnek a megfordíthatatlanságával, amelyet ezek a folyamatok határoznak meg. Igaz, hogy a termodinamikai törvények az egyensúly közelében megmaradnak egyetemesnek: minden termodinamikai rendszerre ugyanaz a monoton, az egyensúly vagy az egyensúlyhoz közeli stacionárius állapot felé tartó változás vár, ám a stabilitási küszöbön túl a törvény egyetemességének gondolata átadja helyét minőségileg különböző viselkedésformák vizsgálatának, amelyek nemcsak a disszipatív átala-

kulások részleteitől, hanem a rendszer múltjától is függenek. S éppen azért, mert adott állapotuk meghatározása már nem lehet pusztán a pillanat függvénye, hanem magában kell foglalnia a meghaladott, egymás utáni elágazásokat is, többé nem tartható az az állítás, hogy „minden adott”. A dinamikai determinizmus helyébe a véletlen és szükségszerűség bonyolult dialektikája, valamint az a különbség kerül, amely az instabil tartományok és a két elágazás között található, determinisztikus átlagtörvények uralta tartomány között áll fenn. A fluktuációs rendezettség a dinamika statikus világával egy nyitott Univerzumot állít szembe, amelynek aktivitásából újdonság származik, s ezért változása újítást, teremtést és pusztulást, születést és halált jelent.

A második főtétel Clausius-féle meghatározása óta nyilvánvaló volt az ellentmondás termodinamika és dinamika között. Clausius, majd Maxwell<sup>159</sup> újra bevezették a fizikai leírásba az ütközés fogalmát, s vele együtt a statisztikai leírás lehetőségét. Az ütközéseket tényleg lehetséges *megszámolni*, mégpedig azért, mert ezek *diszkrét* események, s meg lehet becsülni a különböző események átlagos gyakoriságát, például azokét az ütközéseket, amelyek  $v$  sebességű részecskét hoznak létre, illetve azokét is, amelyek egy  $v$  sebességű részecskét sebességének megváltoztatására bírnak.

Maxwell a következő kérdést tette fel: Létezik-e a gázoknak olyan fizikai állapota, ahol az ütközések, melyekről tudjuk, hogy szüntelenül módosítják a molekulák sebességét, többé mégsem befolyásolják a sebességek eloszlását, azaz a részecskék átlagos számát a sebesség minden egyes értékére? A sebességek milyen eloszlása esetén egyenlítődik ki a populációk szintjén az ütközéseknek az egyes molekulákra gyakorolt hatása?

Maxwell kimutatta, hogy ez a különös állapot, a termodinamikai egyensúly állapota, akkor következik be, amikor a sebességek eloszlása megfelel a híres „haranggörbének”, annak a görbének, amely Laplace, Gauss és Quételet munkáiban tulajdonképpen a véletlen kifejeződéseként jelenik meg.

Maxwell elmélete egyszerű formában érteti meg velünk az egyensúlyi állapotban lévő gázok viselkedését leíró termodinamikai törvényeket. A hőmérséklet emelkedése megfelel a molekulák átlagsebessége, azaz mozgási energiájuk emelkedésének. Ebből a hipotézisből közvetlenül levezethetők a fizikai kémia klasszikus törvényei, külö-

nösen egy gáz hőmérséklete és a tartály falaira ható nyomás közötti kapcsolat. A sebességek maxwelli eloszlását tapasztalatiilag sikerült igazolni, mégpedig nagy pontossággal. Még ma is ezen az alapon oldják meg a fizikai kémia számos problémáját (például az ütközések számának kiszámítása egy reakcióelegyben).

Boltzmann azonban tovább kívánt lépni. Nemcsak az egyensúlyi állapotot, hanem az egyensúly, a maxwelli eloszlás felé tartó változást is le akarta írni. Szeretett volna nyomára bukkanni annak a molekuláris mechanizmusnak, amely biztosítja az entrópia növekedését, a rendszernek a végső állapot, vagyis az egyensúlyi állapot felé tartó változását, bármilyen is a sebességek kezdeti eloszlásának függvénye.

Úgy vélte, hogy ha a fizikai változás kérdését nem az egyedi pályák, hanem az átlagos eloszlásfüggvény által leírt *molekulapopulációk* szintjén teszi föl, akkor bizonyos értelemben Darwin eljárását alkalmazza a fizikára: a biológiai változás motorja, a természetes kiválasztódás sem határozható meg többé az egyed szintjén, hanem csakis egy sokelemű populációra vonatkoztatva, tehát statisztikai fogalommal van dolgunk.<sup>160</sup>

Anélkül hogy belemerülnénk a technikai részletekbe, azt mondjuk, hogy a boltzmanni „kinetikai egyenlet” a sebességek eloszlási függvényének változását két hatás összegeként írja le;  $r$  helyzetű és  $v$  sebességű részecskék  $f(r, v, t)$  száma egy adott  $t$  pillanatban egyrészt az önállóan tekintett részecskék folytonos mozgásának függvényében változik (e hatást  $[\partial f(v, t)/\partial t]_{\text{pálya}}$  jelöli), másrészt a részecskék ütközéseinek hatására ( $[\partial f(v, t)/\partial t]_{\text{ütk.}}$ ). Az előbbi hatás a dinamikában minden nehézség nélkül kiszámolható, a Boltzmann-féle módszer eredetisége azonban az utóbbi hatás vizsgálatában mutatkozik meg. Mivel nehéz volna pontosan követni a pályákat, Boltzmann olyasféle fogalmakhoz folyamodik, mint amelyeneket az V. fejezetben mi is segítségül hívtunk a kémiai reakciók leírásához, és kiszámolja azoknak az ütközéseknek az átlagos számát, amelyek létrehozhatnak vagy elfogyasztanak egy  $v$  sebességű molekulát.

Itt is két ellentétes hatású folyamattal van dolgunk: egyrészt a „közvetlen” ütközésekkel, amelyek két —  $v'$  és  $v''$  sebességű — molekulából kiindulva létrehozhatnak egy  $v$  sebességű molekulát, másrészt a „fordított” ütközésekkel, amelyek egy  $v_1$  sebességű molekulával való ütközés útján elfogyasztanak egy  $v$  sebességű molekulát. Akárcsak a kémiai reakciók esetében (V. fejezet, 1. szakasz), az



efféle események gyakoriságát arányosnak tekintjük azoknak a molekuláknak a számával, amelyek részt vehetnek bennük. Történelmileg a Boltzmann-féle módszer (1872) természetesen megelőzte a kémiai kinetika színre lépését.

A Boltzmann-féle ütközésfogalom — a  $v$  sebességű molekulák számának az ütközések következtében beálló pillanatnyi változása — a  $v$  sebességű részecskét létrehozó vagy megsemmisítő folyamatok összegzésének az eredménye. A részletek nem számítanak ugyan, de fontos megjegyezni, hogy ennek a  $[\partial f(v,t)/\partial t]_{\text{ütk.}}$  kifejezésnek a szimmetriatulajdonságai különböznek a „folytonos”  $[\partial f(v,t)/\partial t]_{\text{pálya}}$  kifejezés szimmetriatulajdonságaitól. Az utóbbiban megtalálható a dinamikai egyenletek klasszikus szimmetriája: a sebességek megfordítása a rendszert arra készíti, hogy „visszamenjen az időben”. A megfordulás után viszont az ütközések — akárcsak a megfordulás előtt — továbbra is az egyensúlyi állapot felé terelik a rendszert. Mérlegük,  $[\partial f(v,t)/\partial t]_{\text{ütk.}}$  statisztikai kiszámítása nem változik: az ütközések által meghatározott Boltzmann-féle egyenletben szereplő kifejezés *a sebességek megfordítására invariáns*.

Az ütközésfogalom szimmetriája a dinamikától idegen, új fizikai tulajdonság. A Boltzmann-féle egyenlet egyszerre tartalmaz olyan kifejezést, melyben megvan a dinamikai egyenletek szokásos szimmetriája ( $v \rightarrow -v$  egyenértékű  $t \rightarrow -t$ -vel), és olyan kifejezést, mely a rendszert még a sebességek megfordítása esetén is az egyensúly felé vezeti.

A Boltzmann-féle kinetikai egyenlet integrálása nem könnyű feladat. Nemlineáris egyenletről van szó, hiszen az ismeretlen  $f(v,t)$  eloszlási függvény nemlineáris módon lép be az ütközési kifejezésbe. Ám Boltzmann alapvető eredményét egyenletének általános tulajdonságai is világossá teszik, nem szükséges hozzá az egyenlet megoldása. Boltzmann meg is mutatta, hogy az egyenlet szimmetriájának egyik figyelemreméltó következménye az, hogy az eloszlási függvényen végrehajtott integrálás, pontosabban a  $\mathcal{A} = \int dv f(v,t) \log f(v,t)$  mennyiség az idő múlásával csakis *csökkenhet*, mígnem eléri a minimumot abban a pillanatban, amikor  $f$  megfelel a maxwelli egyensúlyi eloszlásnak. Boltzmann ebben a  $\mathcal{A}$  mennyiségben az entrópia mikroszkopikus értelmezésének kulcsát látta. Megszületett a molekuláris folyamatok alapelve! Érthető, hogy a Boltzmann utáni fizikusok

nemzedékei — köztük Planck, Einstein, Schrödinger és mások — el voltak ragadtatva.<sup>161</sup>

Boltzmann a következőt állította:  $S = -k\mathcal{H}$ , ahol  $k$  újfent a Boltzmann-féle egyetemes állandó (IV. fejezet, 4. szakasz). Már idéztük a szintúgy nevezetes  $S = k \log P$  képletet, amely az entrópiát a komplexiók számához köti. Az új képlet még messzebb megy, mert az entrópiát ahhoz az  $f$  függvényhez köti, amelyet minden pillanatban kiszámolhatunk a kinetikai egyenlet segítségével.

Érdemes kiemelni valamit. A  $\mathcal{H} = \int dv f \log f$  képlet nem függ a molekulák kölcsönhatásának feltételezett mechanizmusától. A rugalmatlan gömbök ütközésének modellje, akárcsak az, amely a molekulákat a vonzóerő középpontjainak teszi meg, ugyanazt a képletet eredményezi. Itt bizony egy egyetemes vonzási állapot fogalmazódik meg. Míg a kinetikai egyenlet a kölcsönhatás típusát meghatározó, a molekulák között ható erőkn keresztül a modellek különös jellegét tükrözi,  $\mathcal{H}$  definíciójában már semmilyen nyoma nem lelhető fel a kölcsönhatásra utaló dinamikai feltevéseknek. Az utóbbi kizárólag a sebességek eloszlási függvényétől függ. Mihelyt ismerjük  $\mathcal{H}$ -t, azt is tudjuk, hogy a rendszer milyen távolságra van a vonzó állapottól, az egyensúlytól.

Az utóbbi években számos esetben numerikusan igazolták  $\mathcal{H}$ -csökkenését az idő múlásával. A boltzmanni jóslat így beigazolódtott. Ráadásul a kinetikai egyenlet még ma is fontos szerepet játszik a gázok és az ionizált közegek fizikájában. Segítségével kiszámíthatjuk — molekuláris kifejezések használatával — azokat az együtthatókat, amelyek például a hő vagy az anyag átvitelét jellemzik.

Boltzmann eredményei azonban főleg fogalmi szempontból utalnak óriási előrehaladásra: a megfordítható és megfordíthatatlan jelenségek megkülönböztetése, melyre — mint láttuk — a második főtétel épül, mikroszkopikus szinten is megjelenik. A  $(\partial f/\partial t)_{\text{pálya}}$  kifejezés megfelel a változás megfordítható részének, a  $(\partial f/\partial t)_{\text{ütk.}}$  rész pedig a megfordíthatatlan résznek.

A boltzmanni áttörés tehát döntő lépés a folyamatok fizikájában, s hatása összemérhető a dinamikáéval. Arra kell-e ebből következtetnünk, hogy a megfordíthatatlanság problémája megoldódott, és Boltzmann elmélete megvalósította a második főtétel levezetését a dinamikából? Az entrópia értelmezhetővé vált a dinamika szem-

szögéből? Erre a kérdésre teljesen egyértelmű a válasz: mindez nem valósult meg.

## 2. Dinamika és termodinamika: két külön világ

Boltzmann munkájának 1872. évi közzététele után nyomban megjelentek a bírálók, akik azt a gondolatot kifogásolták, mely szerint a javasolt modell a megfordíthatatlanságot visszavezetné a dinamikára. Emeljünk ki kettőt érveik közül, a Poincarétól<sup>162</sup> és a Loschmidt-től<sup>163</sup> származót.

Poincaré ellenvetése a Boltzmann-egyenlet szimmetriájának kérdésére vonatkozik. Szabatos gondolatmenet nem vezethet a premisszákkal ellentétes következtetésekre. Márpedig — mint láttuk — az eloszlási függvényt leíró Boltzmann-féle változási egyenlet szimmetriatulajdonságai ellentmondanak a dinamikai tulajdonságoknak, azaz Boltzmann az entrópiát nem vezethette le a dinamikából: feltehetően a dinamikától idegen elemet illesztett a rendszerbe. Eredménye tehát csupán fenomenológiai modell, mely nincs közvetlen kapcsolatban a dinamikával.

Poincaré makacsul ragaszkodott álláspontjához, már csak azért is, mert egy rövid tanulmányban már korábban megvizsgálta, hogy megalkotható-e a helyzetek és impulzusok olyan  $M$  függvénye —  $M(p, q)$  —, amely az entrópia (vagy inkább a  $\mathcal{H}$  függvény) tulajdonságaival rendelkezik: a függvényérték pozitív vagy nulla lenne, és az időbeli változás csupán csökkenthetné vagy állandó értéken tarthatná. Következtetése elutasító volt — a *hamiltoni* dinamika keretei között ilyen függvény nem létezhet. De mi ebben a meglepő? A dinamika megfordítható törvényeiből ugyan mi módon születhetne megfordíthatatlan változás? Poincaré csüggedt hangon fejezi be híres *Termodinamikai előadásait*: nyilván másféle megfontolásokhoz, a valószínűségszámításhoz kell fordulnunk. De mivel támasszuk alá azt, hogy a dinamikától idegen fogalmakra van szükségünk?

Loschmidt ellenvetése viszont lehetővé teszi, hogy megállapítsuk a Boltzmann-féle kinetikai modell *érvényességi határait*. Úgy véli, hogy a sebességek irányának megfordulása —  $v \rightarrow -v$  — után a modell érvényessége megszűnik. *Dinamikai szempontból* nincs kibúvó: a fordított irányú ütközések „szétbontják”, amit létrehoztak,

a rendszer visszafordul kiindulási állapota felé. A sebességek eloszlásától függő  $\mathcal{H}$  függvény pedig maga is növekedni fog, egészen addig, amíg el nem éri kezdeti értékét. A sebességek megfordulása tehát *a termodinamikával ellentétes* változást kényszerít ki. A számítógépes szimuláció valóban igazolja  $\mathcal{H}$  növekedését a sebességek megfordulása után egy olyan rendszerben, melynek pályáit pontosan kiszámítjuk.

Be kell tehát látnunk, hogy Boltzmann kísérlete csak részben volt sikeres: bizonyos kezdeti feltételek — nevezetesen azok, amelyek a sebességek megfordításából származnak — a kinetikai modellel ellentmondásban olyan *dinamikai* változást indíthatnak el —, amelyben  $\mathcal{H}$  növekvő értékű. De miképpen különböztessük meg azokat a rendszereket, amelyekre Boltzmann gondolatmenete alkalmazható, azoktól, amelyekre nem?

A probléma megfogalmazása után már könnyű lesz felismerni a Boltzmann-féle modell korlátainak természetét. Ez a modell valójában egy statisztikai hipotézisen nyugszik, mely lehetővé teszi az ütközések átlagos számának becslését, ami nem egyéb, mint a „molekuláris káosz”. A hipotézis feltételezi, hogy az ütközés *előtt* a molekulák viselkedése független egymástól, vagyis semmilyen összefüggés nem áll fenn sebességeik között.<sup>164</sup> Márpedig ha a rendszert arra kényszerítjük, hogy „visszamenjen az időben”, a normálistól gyökeresen eltérő helyzetet hozunk létre: bizonyos molekuláknak az lesz a „sorsuk”, hogy egy előre meghatározható pillanatban találkozzanak egymással, és ekkor előre meghatározott sebességváltozást szenvedjenek el. Tehát bármilyen távolságra vannak is egymástól a sebességek megfordításának pillanatában, ez a művelet kölcsönhatásokat hoz létre közöttük, s ezzel megszűnik önállóságuk. A molekuláris káosz feltevése nem tartható fenn olyan rendszer esetében, mely átesett a sebességek megfordításának műveletén.

A sebességek megfordítása tehát olyan művelet, mely *magasfokúan szervezett*, látszólag célirányosan működő rendszert hoz létre: a különböző ütközések hatására — mondhatni, a már létező összhang jóvoltából — átfogó „antitermodinamikai” változás indul be (például a lassú és gyors molekulák spontán elkülönülése abban az esetben, ha a rendszert két különböző hőmérsékletű gáz érintkezésével már előkészítettük). Ám e mégoly ritka és kivételes (a sebességek megfordításából származó kezdeti feltételhez hasonlóan kivételes) anti-

termodinamikai változások lehetőségének elfogadása azt jelenti, hogy megkérdőjelezzük a második főtétel állítását: példának okáért vannak olyan esetek, amikor „spontán módon” is létrejöhet hőmérséklet-különbség. Tehát pontosan meg kell határoznunk azokat a körülményeket, amelyek megléte esetén egy megfordíthatatlan folyamat megfordíthatóvá válhat, vagy akár megsemmisíthet egy, a múltban végbement megfordíthatatlan folyamatot. A főtétel többé nem alapelv, hanem korlátozott érvényű általánosítás csupán.

Nem tekinthetjük eleve kizártnak ezt a következtetést. Még ma sem tudjuk pontosan, hogy a második főtétel összefér-e a részecskék ismert kölcsönhatásainak egészével, különösen a gravitációs kölcsönhatással. Azaz nem tudjuk, hogy a Világegyetem entrópiája valószínűségi növekszik-e — mint ahogyan Clausius szerette volna —, vagy pedig ez a növekedés kizárólag galaxisunk adott gravitációs állapotára korlátozódik. Ám ami a molekuláris kölcsönhatások körébe tartozó rövid távú erőket illeti, nincs okunk kételkedni a második főtételben. De nem kell-e akkor megkísérelnünk a Boltzmann-féle érv pontosítását, és „fenomenológiai” részének kiküszöbölését? A gondot elsősorban az okozza, hogy az „ütközés” kifejezést a dinamikától idegen megfontolások alapján vezettük be, vagy másképpen fogalmazva: a molekuláris káosz feltételezésével éltünk.

Mivel a megfordíthatatlanság nem lehet érvényes egy pálya szintjén, meg kell próbálnunk kielégítőbben összefoglalni a „populációra” és a dinamikai pályára vonatkozó gondolatokat. Pontosán ez a célja a sokaságok Gibbs- és Einstein-féle elméletének, melyet most fogunk szemügyre venni.

### 3. A Gibbs-féle sokaságok

Egy körülbelül  $10^{23}$  számú molekulából álló makroszkopikus rendszer dinamikai leírása először is a következő nehézséget veti fel: nyilvánvalóan nem ismerjük mind a  $10^{23}$  molekula kezdeti helyzetét és sebességét. A sokaságok Gibbs és Einstein által megalkotott elmélete olyan dinamikai leírást tesz lehetővé, mely *független* a kezdeti feltételek mineműségétől.

A sokaságok elmélete minden dinamikai rendszert a „fázistérben” ábrázol. Például egy  $n$  önálló részecskét tartalmazó rendszer pilla-

natnyi állapotát ábrázolhatja  $n$  számú pont és  $n$  számú sebességvektor egy háromdimenziós térben, vagy egyetlen pont egy  $6n$  dimenziójú térben. Időbeli változásának ebben a „fázistérnek” nevezett térben egyetlen pálya fog megfelelni. Minden dinamikai rendszernek megfelel egy olyan fázistér, melyben a rendszer minden egyes állapotát egy és csakis egy pont ábrázolhatja.

Mint ahogy már jeleztük, egy makroszkopikus rendszer kezdeti feltételeit nem ismerhetjük pontosan. Annak viszont semmi nem áll az útjában, hogy megfeleltessünk a rendszernek egy *reprezentatív pontokból* álló halmazt: ezek a pontok azoknak a dinamikai állapotoknak felelnek meg, amelyek egybevágóan a rendszerről rendelkezésünkre álló információkkal. Így a fázistér minden egyes tartományát reprezentatív pontok töltik ki, amelyekből annál több van, minél nagyobb a valószínűsége annak, hogy a rendszer ott valóban megjelenik. A sokaságok elmélete nem a diszkrét pontokkal foglalkozik, hanem a fázistérbe bevezeti a reprezentatív pontok *folytonos sűrűségének* fogalmát:  $\rho(q_1 \dots q_{3N}, p_1 \dots p_{3N})$ . Úgy tekinthetjük, hogy ez a sűrűség annak valószínűségét méri, hogy a fázistérben egy  $[q_1 \dots q_{3N}, p_1 \dots p_{3N}]$  pont körül valamilyen dinamikai rendszerre bukkanunk.

Ebben a beállításban a sűrűségfüggvény mesterséges elképzelésnek tetszhet, ellentétben a pályákkal, amelyek mintha „természetes módon” népesítenék be a világot. Holott valódi idealizációt éppen a pályák képviselnek. A valóságban a kezdeti feltételeket *soha* nem ismerjük azzal a végtelen pontossággal, amely egyetlen pontra zsugorítaná őket a fázistérben. Ezért soha nem bonthatunk ki egy pályát ebből az egyetlen pontból kiindulva, csupán a pályák egy sokaságát számíthatjuk ki a kiindulási állapotban lévő rendszer reprezentatív pontjainak halmazából. Tehát  $\rho$  az, ami tükrözi a rendszerről szerzett ismeretünket, és az a fázistérbeli térfogat, amelyben  $\rho$  nem nulla, s amelyben a rendszer nem nulla valószínűséggel lehető fel, megfelel ezen ismeret pontosságának. Amikor  $\rho$  a tér egyetlen tartományában sem nulla, hanem mindenütt ugyanaz az értéke, akkor ismeretünk „minimális”.

Ebből a nézőpontból viszont a pálya a rendszer maximális ismeretét tükrözi, ami pedig a kezdeti feltételek ismeretének növekvő pontosságát illeti, az csakis a határ eléréséből származhat. Meg fogjuk látni: az alapvető kérdés az, hogy tudjuk-e, mikor lehetséges a

határ elérése, mikor van értelme a rendszert a fokozatos közelítések hálójával „bekeríteni”. Ahogy nő méréseink pontossága, úgy térünk át a fázistér adott tartományából — ahol  $\rho$  nem nulla — egy kisebb tartományba az előbbin belül. És így tovább, mindaddig, amíg a tartomány, melyben a rendszer felbukkanhat, nullához nem közelít. A mérés, mely mindig véges pontosságú, soha nem fogja lehetővé tenni, hogy egy bármilyen kis tartományból eljussunk egy *ponthoz*. Ez csakis idealizációval lehetséges. Az, hogy a határ elérésének, azaz a pályának az idealizációja nem mindig lehetséges, a dinamika jelenkori megújulásának szolgál alapjául.

A sokaságok Gibbs- és Einstein-féle elméletének alkalmazása Boltzmann erőfeszítéseinek természetes kiterjesztése volt, bizonyos értelemben a  $\rho$  függvény helyettesítette a sebességek  $f$  eloszlási függvényét. Ám  $\rho$  fizikai tartalma túlmutat  $f$ -én. Mint ahogy  $f$  is,  $\rho$  is meghatározza a sebességek eloszlását, de ezen kívül további információt is nyújt, például megadja a meghatározott távolságra lévő két részecske találkozásának valószínűségét, azaz a két részecske kölcsönhatásait.

Most pedig el kell magyaráznunk a  $\rho$  statisztikai eloszlás változását leíró egyenletet. Ez még nehezebbnek látszik, mint az a feladat, amely Boltzmann előtt tornyosult, amikor a sebességeloszlási függvényt akarta leírni. Ám nem így van, mert a II. fejezetben magyarázott hamiltoni egyenletek lehetővé teszik, hogy közvetlenül, statisztikai közelítés alkalmazása nélkül jussunk el a  $\rho$ -ra vonatkozó pontos változási egyenlethez. A híres Liouville-féle egyenletről van szó, amelyről a későbbiekben még szót ejtünk (IX. fejezet). Annyit jegyezzünk csak meg, hogy a hamiltoni dinamika tulajdonságaiból az következik, hogy  $\rho$  változása a fázistérben úgy menjen végbe, akár csak egy *összenyomhatatlan folyadékban*: ha kiinduláskor a reprezentatív pontok a fázistérben  $V$  térfogatot foglalnak el, ez a térfogat az idő múlásával is *megmarad*. A térfogat formája önkényes módon változhat, de értékének állandónak kell maradnia (lásd a 15. ábrát a IX. fejezetben).

A sokaságok Gibbs-féle elmélete tehát lehetővé teszi, hogy a lehető legkövetkezetesebben összekapcsoljuk a statisztikai nézőpontot (a dinamikai rendszerekből álló,  $\rho$  által leírt populáció tanulmányozását) a dinamikai törvényekkel. Másfelől azt is lehetővé teszi, hogy pontosabb képet alkossunk a termodinamikai egyensúly állapotáról.

Így egy elszigetelt rendszer esetében a reprezentatív pontok halmaza megfelel azoknak a rendszereknek, amelyeknek energiája egyformán  $E$ . A  $\rho$  sűrűség tehát csupán azon a „felületen” fog különbözni nullától, amely a fázistérben megfelel ennek az energiaértéknek: ez pedig a  $H(q_1 \dots q_{3N}, p_1 \dots p_{3N}) = E$  „mikrokanonikus” felület.

Kiinduláskor a  $\rho$  sűrűség önkényes módon oszolhat meg ezen a felületen. Egyensúly esetén  $\rho$ , mely lehetővé teszi a konstans makroszkopikus mennyiségeknek megfelelő átlagértékek kiszámítását, már nem változhat az idő múlásával, és függetlennek kell maradnia a kiindulási állapot sajátos jellegétől. A  $\rho$ -val jellemzett eloszlás *egyenlő értékű* lesz a mikrokanonikus felületen, ami azt jelenti, hogy e felület minden egyes pontja ugyanakkora valószínűséggel képviselheti valóságosan a rendszert. Ekkor *mikrokanonikus sokaságról* beszélünk, melyet  $\rho$  konstans értéke jellemez a  $H = E$  felületen és sehol másutt. Gibbs kimutatta, hogy egy mikrokanonikus sokaság sűrűségéből kiindulva tényleg eljuthatunk az egyensúlyban lévő elszigetelt termodinamikai rendszerek összes tulajdonságához.

Vajon közelebb jutottunk-e ezzel az entrópiaprobléma megoldásához? Boltzmann elmélete lehetővé tette, hogy a termodinamikai vonzóerőt a sebességek  $f$  eloszlási függvényével magyarázzuk: ez a függvény a maxwelli eloszlás eléréséig változik, s e változás során a  $\mathcal{H}$  mennyiség csökken. Általánosabb értelemben kimondhatjuk-e akkor, hogy a  $\rho$  eloszlás változása a fázistérben a mikrokanonikus halmaz felé magyarázza az entrópia növekedését? Elegendő-e a boltzmanni  $\mathcal{H}$  mennyiséget helyettesíteni a gibbsi  $\mathcal{H}_G$  mennyiséggel, melyet azonos módon, de ezúttal  $\rho$  függvényében,  $\mathcal{H}_G = \int \rho \ln \rho \, dp$   $dq$ -ként határozzuk meg?

Sajnos ez nem így van. Ha alkalmazzuk Liouville egyenletét, melyben a fázistérbeli térfogat megmarad, rögtön adódik a következtetés:  $\mathcal{H}_G$  konstans, vagyis nem fejezheti ki az entrópiát. Nem léptünk előre, sőt Boltzmannhoz képest még vissza is léptünk!

De végül is mi a meglepő ebben? A sokaságok Gibbs-féle elmélete csupán egyetlen pótlólagos — bár igen fontos — elemet vezet be a dinamikába: a kezdeti feltételek ismeretlen voltát. Ez a nemismeret elegendő volt-e ahhoz, hogy kialakuljon a megfordíthatatlanság gondolata? Elkerülhetetlen volt-e a következtetés, mely szerint azzal az egyetlen feltétellel, hogy nem ismerjük kezdeti feltételeit, minden dinamikai rendszer eleget tesz a második főtételeknek? A megfor-



díthatatlanság és az ismeret összekapcsolása — ahelyett, hogy az előbbit fizikai tulajdonságnak tekintenénk — a második főtétel szubjektivista értelmezését képviseli. Ezt kell most közelebbről megvizsgáljunk.

#### 4. A megfordíthatatlanság szubjektivista értelmezése

Úgy látszik, Gibbs azt gondolta: fel kell hagynunk azzal a reménnyel, hogy valaha is „objektív” megoldást találunk a megfordíthatatlanság által felvetett problémákra, és be kell érünk egyfajta szubjektivista értelmezéssel, mely nem a belső fizikai tulajdonságokon, hanem a megfigyelő tudásán és tudatlanságán alapul. Vegyítsünk — mondta — egy csepp fekete tintát tiszta vízhez. A víz kisvártatva szürkévé válik, s ez a változás számunkra megfordíthatatlan. Pedig egy éles szemű megfigyelő számára, aki nem a makroszkopikus folyadékot, hanem a populációt alkotó egyes molekulákat figyeli, a folyadék sohasem válik szürkévé. A megfigyelő figyelemmel kísérheti ugyan a rendszernek eleinte csak kisebb tartományában sűrűsödő „tintamolekulák” egyre delokalizáltabb pályáit, de az a gondolat, mely szerint a különemű közeg megfordíthatatlanul egyneművé vált, és a víz „elszürkült”, az ő szempontjából csupán látszat, melyet megfigyelési eszközeink durva volta határoz meg, vagyis csupán szubjektivista illúzió. A megfigyelő csak megfordítható mozgásnak volt tanúja, s nem szürkét, hanem „feketét” és „fehéret” lát. Ha a változást a sokaságok elméletének fogalmaival írja le, akkor az egész fázistéren keresztül megfigyelte, a rendszer reprezentatív pontjait tartalmazó kiindulási tartomány szétágazódását, de az ő számára a tartomány térfogata nem változott meg (Liouville-féle változás), míg „számunkra”, akik nem látjuk a pályákat, a térfogat szüntelenül növekedett (megfordíthatatlan változás).

Ezen értelmezés szerint az entrópiánövekedés nem magát a rendszert, hanem csupán a rendszerről való tudásunkat írja le. Szüntelenül növekszik a rendszer állapotát, a fázistér azon tartományát illető tudatlanságunk, amelyben a rendszert képviselő pont esetleg megtalálható. A kiindulási pillanatban sok értesüléssel rendelkezhetünk a rendszerről, melyet elég pontosan el is helyezhetünk a fázistér egyik lehatárolt tartományában, de az idő múlásával a kezdeti

feltételekkel összeegyeztethető pontok olyan pályákat alkothatnak, amelyek egyre jobban eltávolodnak a kiindulási tartománytól. A kiinduláshoz kötődő információ így megfordíthatatlanul elveszíti érvényességét, míg aztán a végső szakaszban már nem ismerünk mást a rendszerből, mint azokat a mennyiségeket, amelyeket a dinamikai változás változatlanul hagyott. A rendszer ekkor egyensúlyban van, a mikrokanonikus felszín bármelyik pontjában előfordulhat. Az entrópia növekedése tehát a rendelkezésre álló információ csökkenését jelenti. Kiinduláskor a rendszer annál messzebb van az egyensúlytól, minél jobban ismerjük, minél pontosabban vagyunk képesek meghatározni, elhelyezni a fázistér minél kisebb tartományában.<sup>165</sup>

E szubjektivista értelmezés — a megfordíthatatlanság nem más, mint a tudatlanság növekedése, s ezt csak felerősíti az információelmélettel vont kétes értékű analógia — szerint a rendszer sorsát jellemző időaszimmetriáért egyedül a megfigyelő felelős. Mivel a megfigyelő nem képes egyetlen pillantással átfogni az összetett rendszert alkotó részecskék helyzetét és sebességét, nem férhet hozzá a rendszer alapigazságához sem: nem ismerheti azt a pillanatnyi állapotot, amelyben egyformán benne rejlik a rendszer múltja és jövője, nem ragadhatja meg a megfordíthatóság törvényét, amely lehetővé tenné számára, hogy pillanatról pillanatra figyelemmel kísérje a változást. S nem nyúlhat hozzá a rendszerhez úgy, mint ahogy Maxwell démonja tenné, aki képes elválasztani egymástól a gyors és lassú részecskéket, s ezzel a rendszerre egy mind kevésbé egyenlő értékű hőmérséklet-eloszlás felé haladó antitermodinamikai változást kényszerítene.<sup>166</sup>

A termodinamika ugyan a bonyolult rendszerek tudománya, de az értelmezés szerint a bonyolult rendszerek egyedüli sajátossága az, hogy a róluk szerzett tudás mindig csak közelítő jellegű, és a közelítésből eredő bizonytalanság az idő múlásával egyre növekszik. Ám ahelyett, hogy a dolgok megfordíthatatlan változásában önsorsának hasonmását ismerhetné fel, a megfigyelő kénytelen elfogadni, hogy a sorsról mit sem tudó természet megelégszik azzal, hogy saját tudatlansága növekedésének képét tükrözze vissza a megfigyelőnek. A természet néma, és a természeti folyamatok nem a világ mélyére hatoló szilárd gyökerekről tudósítják az embert, hanem csupán az emberi erőfeszítéseket és azok korlátait visszhangozzák.

Az ellenvetés azonban nyomban készen áll: ebben az esetben a termodinamikának éppúgy egyetemesnek kellene lennie, mint tudatlanságunknak. Itt rejlik a bökkenő az entrópia összes „egyszerű”, a kezdeti vagy peremfeltételek bizonytalanságára hivatkozó értelmezéseiben. A megfordíthatatlanság ugyanis *nem egyetemes tulajdonság*. A dinamika és a termodinamika összeegyeztetéséhez tehát szükség van egy, a rendszerek megkülönböztetésére szolgáló *fizikai* ismertetőjegy meghatározására, és aszerint, hogy leírhatók-e termodinamikailag, vagy sem, szükség van a bonyolultság fizikai jellegű, nem pedig az ismeret hiányára hivatkozó meghatározására. Ezt a kérdést fogjuk szemügyre venni a IX. fejezetben, amelyben újra elő fog kerülni a megfigyelés és a tudatlanság témája, de ezúttal a vizsgált rendszerek sajátos tulajdonságaival összefüggésben.

Mivel magyarázható, hogy egyes tudósok a szubjektivista értelmezés mellett tették le voksukat? A retorikai vonzerő részben talán abból fakad, hogy az entrópia visszafordíthatatlan növekedését eredetileg egyrészt a tökéletlen befolyásolás gondolatához kapcsolták, ahhoz, hogy nincs hatalmunk az ideálisan megfordítható műveletek fölött, másrészt pedig az ebből eredő pazarláshoz és teljesítményvesztéshez.

Ám nyomban kitűnik ennek az értelmezésnek a képtelensége, ha elfelejtjük a műszaki elfogultságok keltette gondolattársításokat, és visszaállítjuk azt a gondolati közeget, amelyben a második főtételhez a természetben érvényesülő időnyíl jelentése társult. Ezek szerint a kémiai affinitás, a hővezetés — melynek egyetemes jellegét Fourier hangsúlyozta —, a viszkozitás, az entrópia megfordíthatatlan növekedéséhez kötődő tulajdonságok együttese nem a tárgytól, hanem a megfigyelőtől függene? Ezek szerint a megfordíthatatlan égés a kohóban, az anyagot elemésztő tűz a szóban forgó tárgyakat illető tudatlanságunk növekedésével állna szoros kapcsolatban? A régi kémikusok az anyag termikus és kémiai tulajdonságainak *sajátos* jellegére hivatkoztak, amikor az elvont, általános mechanika fékezhetetlen hódításvágya ellen tiltakoztak, és most éppen e tulajdonságok objektív voltát tagadnánk, azt, hogy lényegileg kötődnek az anyaghoz, és ismereteink közelítő jellegétől függő tulajdonságokká minősítenénk vissza őket.

A dolog képtelen volta még nyilvánvalóbbá vált, amikor rábukkan-  
tak a Boltzmann-féle rendezettségi elv határaitra a termodinamikában.

Amíg a komplexiókat kellett számolgatni, csupán a második főtétel tehetett különbséget a legvalószínűbb felé tartó, megjósolható és megismételhető változások, valamint a valószínűtlen, de a fizika törvényeivel összhangban lévő változások között. Ez a „rendezőelv” szerep — mely nem magyaráz meg semmit, hanem csupán valószínűségi osztályokat állít fel — szülte azt a kísértést, hogy a termodinamikai leírást azonosítsák egy fortélyokat és jóslásokat tartalmazó receptkönyvvel, és teljesen figyelmen kívül hagyják a rendszer viselkedését megmagyarázó, megfordíthatatlan folyamatokat.<sup>167</sup> Amikor felvetődik a stabilitás problémája, amikor már nem kizárt, hogy egy fluktuáció csillapodás helyett felerősödjék, a megfordítható működés konstruktívává lesz: a rendszer autonómiára tesz szert. Autonómiáját azok a módok határozzák meg, amelyek szerint ugyanazon határfeltételek megléte esetén működhet. Ettől fogva ennek a működésnek a leírása, nem pedig a rendszer befolyásolása vagy felhasználása alkotja a termodinamika tárgyát.

Abban a mértékben, ahogyan azok a szerveződési jelenségek, amelyeknek forrása a megfordíthatatlanság, meghatározó szerepet játszanak a biológiában, nem lehetséges egyszerű, tudatlanságunkhoz kötött látszatnak tekinteni őket. Vajon mi magunk, megfigyelő és beavatkozó élőlények is csupáncsak érzékeink tökéletlenségéből származó illúziók, árnyéklények volnánk?

A termodinamikai elméletek újabb fejlődése tehát felerősítette a két tudományág, a termodinamika és a dinamika ütközésének erejét. A dinamika törekvése arra, hogy a termodinamika sajátyszerűségét a közelítő tudás termékeként mutassa be, túlzássá válik, amint meg nyilvánul az entrópia konstruktív szerepe. S fordítva, nehéz a megfordíthatatlanság nevében tagadni a dinamikát: a bolygók mozgása menetrendszerű, nem történik benne semmi újítás, az ingamozgásban nem nyilvánul meg semmiféle teremtő újdonság, s ez a mozgás annak az örök mozgásnak a megközelítése, amelyet a dinamika egy súrlódás nélküli világban képzel el. A jelek szerint két világ ütközik, a pályák világa a folyamatok világával, s nem nyílik mód arra, hogy az egyik kedvéért tagadjuk a másikat.

Érdeemes felfigyelni arra, hogy bizonyos értelemben van némi hasonlóság a mi helyzetünk és aközött, amelyben a dialektikus materializmus kialakult. A fizika jelenkori fejlődése, az entrópia konstruktív szerepének felfedezése a természettudományokon belül ki-

kényszerítette azt a kérdést, amelyet már régóta feszegettek azok, akik a természetet abban a minőségében szerették volna megérteni, mint ami embereket és társadalmakat képes létrehozni. Leírtunk egy „historikusnak” minősíthető természetet, mely képes fejlődésre és újításra, ám az a gondolat, hogy a természettörténet a materialista álláspont szerves részét alkothatja, már régebben megjelent Marxnál és kifejtettebb formában Engelsnél.

Abban az időben, amikor Engels *A természet dialektikáját* írta, úgy tűnhetett föl, hogy a fizika tudománya magától elszakadt a mechanisztikus gondolattól, amiből a természet történeti fejlődésének eszméje következett. Engels három alapvető felfedezést említ: az energiát és mennyiségi átalakulásainak törvényeit, a sejtét mint az élő anyag alapegységét, amely egyformán lehetővé teszi az élő világ és az organizmusok fejlődőképességének megértését, s végül a fajok fejlődésének darwini felfedezését. Korának a tudományos megújulásából Engels arra következtetett, hogy a mechanisztikus eszme halott, a természettörténetet és az emberi társadalmakat illetően semmi nem áll útjában a történelmi fejlődés általános törvényeire — a dialektikus törvényekre — irányuló kutatásnak.

Ma már tudjuk, hogy a XIX. század természettudományos felfedezései nem tudták átalakítani e tudományok alapelveit. Nem azért, mert a klasszikus tudomány képesnek bizonyult arra, hogy magába fogadja őket: ellenkezőleg, az entrópia szubjektivista értelmezéseinek együttese és a megfordíthatatlan folyamatok egyediségének ebből fakadó tagadása egyfajta megerősítése annak a jól ismert vádnak, hogy a mechanisztikus eszme valamilyen többé-kevésbé bevallott idealizmust tartalmaz. A dialektikus materializmus viszont a következő hatalmas problémával találta szemben magát: Milyen viszonyok vannak a dialektika általános törvényei és a mechanikai mozgás szintű egyetemes törvényei között? Az utóbbiak egy bizonyos ponttól kezdve nem működnek „többé”, vagy inkább hamisak, illetve nem teljesebbek? Hogyan lehet — s itt megint csak beleütközünk kérdésünkbe — összeegyeztetni a folyamatok világát a pályák világával?<sup>168</sup>

A válaszadáshoz már rendelkezünk két további ütköztetővel. Először is tudjuk, hogy a kérdés nem annyira két különböző típusú egyetemes törvény összeegyeztetésére, hanem inkább az egyetemes törvények korlátaira vonatkozik. Amikor a termodinamika felfedezte az önszerveződő folyamatok világát, arra is ráébredt, hogy többé

nem vezetheti le egyetemes módon egy rendszernek a határfeltételek megváltozására adott reakcióit, hanem azoknak az egyedi struktúráknak a stabilitását kell vizsgálnia, amelyeket bizonyos körülmények között a megfordíthatatlan folyamatok hoznak létre. Ezek után, a termodinamika fejlődésével párhuzamosan, más alapvető fogalmi átalakulások is végbementek. A klasszikus dinamika helyzete a fizikán belül ma már nem az, amelyet Boltzmann, Poincaré és Lenin ismertek. A dinamikát a termodinamikától, a lét világát a változás világától elválasztó különbség, mely a XIX. század végén „óceánnynak” látszott, mára „folyóvá” szűkült: még túl széles ahhoz, hogy ne vegyünk tudomást róla, de elég keskeny ahhoz, hogy hidat emeljünk fölébe, hidat verjünk a „létezés” és az „átalakulás” tudománya között.

Ezt a hidat kell még felfedeznünk. Ehhez vissza kell térnünk kiindulópontunkhoz, a dinamika alapvető fogalmaihoz. Az új fizikai elméletek ugyanis gazdagítják időfelfogásunkat; a megszokott, általános idő, az óra ideje mellett bevezetnek egy „második időt”, mely a termodinamikai változást hordozza méhében. Ám mielőtt bemutatnánk ezeket az egészen új fejleményeket, el kell helyoznünk őket azoknak az elméleteknek a keretében, amelyeknek felbukkanásukat köszönhetik: a fizika XX. századi megújulásának keretében.

## VIII. A jelenkori tudomány megújulása

### 1. A mikroszkopikus egyszerűség meghaladása

A newtoni tudomány szintézist alkotott, a termodinamika úgyszintén. Az ilyesfajta szintéziseknek köszönhetően válik a tudománytörténet meglepetésekkel teli fejlődéssé, mely igencsak különbözik az egymástól egyre elszigeteltebb szaktudományok egyhangú és megfordíthatatlan, a biológiai fajok evolúciójának mintájára történő kibontakozásától. Ezzel ellentétben, a problémacsoportok és a különböző nézőpontok közeledése és — ha létrejön — egymásba fonódása lerombolja a válaszfalakat, egybefogja a tudományos kultúra egészét a nem tudományos kultúrával, melynek kérdésfeltevései gyakran szolgálták ihletforrásul, s ennek következtében végül maguk is átalakultak. A boltzmanni félsiker és a poincaréi kételkedés jól mutatják, hogy egy új, egységes természetfelfogás kialakításához mennyire szükség volt a két szemben álló szintézis újabb szintézisére. Ez az újabb szintézis a szemünk láttára formálódik, éppoly váratlanul, mint a többi, mindazon kutatások egymáshoz való közeledésének eredményeképpen, amelyek hozzájárultak ahhoz, hogy elveszük azt a newtoni gondolatot, mely szerint a tudományos elméletnek egyetemeseznek, determinisztikusnak, zártnak kell lennie, s bármi másnál objektívabb, mert nem szán semmiféle szerepet a megfigyelőnek, s mindennél tökéletesebb, mert — kivonva magát az idő romboló erejének hatása alól — a legalapvetőbb szintet értelmezi.

Kétségtelen, hogy az égitestek szabályszerű mozgásának látványa, ugyanarra a helyre való periodikus visszatérésük megfigyelése és kiszámítható jellege — ezek voltak legrégebbi ihletforrásai a klasszikus tudomány programjának: megtalálni az állandóságban a változás kulcsát. Hasonlóképpen, az anyag tanulmányozói az anyagban vala-

mikor az elemi szint egyszerűségét keresték: a tovább nem osztható atomokat, melyekben a régiek a világot alkotó szöveg megsemmisíthetetlen betűit látták.

A klasszikus kor elmúltával a kutatásaink előtt kitáruló fizikai univerzum szétrobbant, először is ami méreteit illeti. Ma képesek vagyunk tanulmányozni a jellemzően  $10^{-15}$  cm nagyságrendű elemi részecskéket, és megvizsgálni a Világegyetem határvidékeiről, a  $10^{28}$  cm nagyságrendű távolságról érkező jeleket. Vagyis tudomásunk van — még ha igen hiányos is — olyan jelenségekről, melyeknek szélsőértékeit a 10 negyvenedik hatványával jellemezhető különbség választja el egymástól. De talán még fontosabb az, hogy az Univerzum határainak kitágulása változatlanságának leáldozását jelenti. Ott, ahol a klasszikus tudomány az állandóságot hangsúlyozta, ma változást és fejlődést látunk, egymásba átalakuló elemi részecskéket, melyek összeütköznek, felbomlanak és megszületnek. Az égen már nem látjuk azokat a periodikus pályákat, amelyek ugyanolyan csodálatra készítették Kantot, mint a benne lakozó erkölcsi törvény. Különös tárgyakat látunk, kvazárokat, pulzárokat, felrobbanó és szétszakadó csillagrendszereket. A csillagok — ahogy mondani szokás — *fekete lyukakká* omlanak össze, melyek mindent, amit csak elérhetnek, egyszer s mindenkorra magukba szívják, s e fekete testek sugárzása mintha az egész Univerzum eredetének, annak az eseménynek az emlékét őrizné, amellyel jelenlegi történelme útjára indult.

Tehát az idő nem csak a biológiába, a geológiába, a társadalom- és kultúrtudományokba hatolt be, hanem megjelent azon a két szinten is, az elemi és kozmológiai szinten, amelyekről egy örök és egyetemes törvény kedvéért a legrégebbi időktől fogva ki volt tiltva.

Úgy beszélünk az elemi szintről, mintha ezt a szintet végre-valahára felfedeztük volna, mintha megvalósult volna az az óhaj, hogy a világ bonyolultságát visszavezessük meghatározott számú részecskefajta egyszerű viselkedésére. Már többször is hitték egyesek, hogy ez sikerült nekik. Az atomban — pozitív központjában és negatív elektronjaiban —, majd a magban — a protonokban és neutronokban — a Világegyetemet felépítő építőköveket látták, ám minden egyes alkalommal rábukkantak egy másik, nyilvánvalóan még elemibb szintre, s szükségessé vált újabb részecskék, újabb kölcsönhatások bevezetése. Elméleti szempontból a megszállott kutatás azt az egye-



temes törvényt kívánta felfedezni, amely Newton törvénye helyébe lépve számot adna az újabban felfedezett kölcsönhatásokról. Az egyedüli elméletet, azt a varázsformulát keresték, amelyből egy különös matematikai képességek birtokában lévő démon levezethetné a fizikai törvények összességét. Ám erre a törvényre nem bukkantak rá.

Ez a kutatás, melynek Einstein egész életén át rabja volt, s mely egyeseket még mindig arra ösztökél, hogy az elemi részecskék tanulmányozásának nehézségeit — vallásos felhangokkal — olyan „válságként” mutassák be, amelyben eldől az emberi tudás sorsa, tőlünk ma már idegen. A benne rejlő derűlátást, a mikroszkopikus szint egyszerű voltát ma már nem vehetjük komolyan: az elemi részecskék semmivel sem egyszerűbbek, mint a csillagok világa. Az egyedüli olyan tárgyak, melyeknek viselkedése valóban egyszerű, a mi világunk részei, a mi makroszkopikus szintünkhöz tartoznak; ezek voltak a newtoni tudomány első tárgyai, a bolygók, a súlyos testek, az ingák. A klasszikus tudomány gondosan erről a közbülső szintről választotta tárgyait. Ma már tudjuk, hogy ez az egyszerűség nem tulajdonsága az elemi szintnek, s nem alkalmazható a világ más alkotóelemeire.

Ennyi látszólag elegendő; az, hogy elméleteink átalakultak, s most már kivételesnek mutatják az állandóságot és az egyszerűséget, arra indíthatna bennünket, hogy minden további nélkül sutba vessük a dinamikának, az egyszerű és stabil tárgyak tudományának teljességigényét. Miért foglalkozunk — mondhatná valaki — a dinamika és a termodinamika összeférhetetlenségével, hiszen az elemi szint kísérte, melyet a dinamika szeretett volna leírni, immáron semmivé foszlott?

Ha így tennénk, elfelejtenénk Whitehead szavait, melyeket állandóan megerősít a tudománytörténet: az elméletek ütközése alkalom, eshetőség. Azzal az ürüggyel, hogy kevésbé ésszerűek, gyakran hangzott már el az a javaslat, hogy minden további nélkül adjunk fel bizonyos kérdéseket, ám ez csak ritkán talált teljes elfogadásra. Loschmidt paradoxonának, a sebességek megfordítása és a belőle következő entrópiacsökkenés paradoxonának megoldásaként századunk elején több fizikus azt javasolta, hogy mondjunk le a determinizmusról. Ha a Boltzmann által leírt részecskepopulációt irányító törvények lényegükből következően statisztikaiak, ha a molekuláris káosz maga az alapvető igazság, akkor a sebességek megfordítása hatástalan, és nem kényszerítheti a rendszert arra, hogy visszafelé, múltja irányába haladjon.<sup>169</sup> Időben hozzánk közelebb, még Brillouin

is abban reménykedett, hogy sikerül lerombolnia a determinizmust, ha a józan észnek ahhoz az igazságához folyamodik, mely szerint a pontos jósláshoz a kezdeti feltételek pontos ismerete szükséges, de ennek az ismeretnek ára van; a determinizmus által feltételezett pontos jóslat végtelen árat feltételez, vagyis képtelenség.

A dinamika törekvéseivel szemben felhozott kifogásoknak van egy nagy hibájuk; ésszerűek ugyan, de terméketlenek, semmilyen saját eredmény nem származik belőlük, nem helyezik új megvilágításba a valóságot; szabályozni és ésszerűsíteni kívánják a természettel folytatott párbeszédet, de nem rejlik bennük egy új dialógus csírája, egy újfajta gazdagság, a kutatás új mezejének ígérete.

Ezért van kitüntetett szerepe a lehetetlenség bizonyításainak. Egy fizikai lehetetlenség felfedezése nem a józan észre fanyalodásból származik, hanem a valóság olyan *lényegi*, belső struktúrájának a felfedezése, amely eddig ismeretlen volt előttünk, s amelynek ismeretében lehetetlennek nyilváníthatnak egy elméleti építményt. Igaz, hogy e felfedezés eredményeként kizárjuk egy addig elvileg lehetségesnek vélt művelet lehetőségét — egyetlen gép hatásfoka sem lehet magasabb egynél, egyetlen hőerőgép sem aknázhatja ki a környezet hőjét, ha egyidejűleg nem érintkezik valamilyen hideg hőforrással — de egyúttal új szempontot is nyitunk a világra, új tudomány lehetősége merül fel.

Századunk két fizikai lehetetlenség bizonyításának volt tanúja, az első a relativitásé volt, a második megalapozta a kvantummechanikát, ám ezeket mintegy „hátrálva”, a fizika törekvései előtt álló korlátok felfedezéseként élte meg; egyszerre látta bennük a csúcspontot és a végső válságot, a saját határait felfedező kutatás alkonyát. Szeretnénk bebizonyítani, hogy a XX. század két tudományos forradalmában nem befejeződést, hanem kezdetet, új elméleti lehetőségek felé való nyitást kell látnunk.

## 2. Az egyetemesség vége: a relativitáselmélet

Az a gondolat, mely szerint szoros összefüggés van a tudományos leírás és a mi világunkhoz tartozó megfigyelő — és nem egy, a fizikai kényszerűségektől teljesen független, a fizikai világot „kívülről” szemlélő lény — számára elméletileg hozzáférhető eszközök megha-

tározása között, a relativitáselmélet egyik alapgondolata. A jelek terjedését vizsgálva fedezték fel azt a határt, amelynek minden, a fizikai világ részét alkotó megfigyelő alá van vetve. Valóban, a fény sebessége légüres térben ( $c = 300\,000$  km/s) a fizikában a jelek terjedési határsebességeként jelenik meg, függetlenül e jelek természetétől (melyek lehetnek elektromágneses, hang- vagy kémiai hullámok). Szerepe egyúttal alapvető: egyetemes természeti állandó.

A newtoni fizikában nincs egyetemes állandó abban az értelemben, hogy az általános elméletet alkot: tárgyainak nagyságrendjétől függetlenül alkalmazható; az atomok, a bolygók, a csillagok mozgását ugyanaz a törvény szabályozza. A Világegyetem tehát egynemű, és a régi, szüntelenül újjászülető álmom még lehetséges: Bolygórendszerünk nem egy óriási szervezet egyik atomja-e? S nem vagyunk-e mi magunk is végtelenül kicsiny, de minőségi értelemben hozzánk hasonlatos lények univerzuma? Ezt az álmodat az egyetemes állandók felfedezése végül is szertefoszlatta. Akkor, amikor a relativitáselméletnek sikerült megalkotnia a dinamika és a fényhullámok terjedéséért felelős elektromágneses mező szintézisét, egyúttal különbséget tett a kis sebességek és a fény sebességével összehasonlítható sebességek között. A fizikai tárgyak viselkedése ezentúl világosan különbözik aszerint, hogy sebességük megközelíti-e a fényét, vagy sokkal alacsonyabb annál. Ugyanígy, Planck  $h$  állandója — amelyről még szó lesz — a testek tömege szerint fölállít egy természetes skálát. Többé nem képzelhetjük úgy el az atomot, mint holmi kicsiny bolygórendszert. Az elektronok léptéke nem ugyanaz, mint a bolygóké vagy a makroszkopikus, súlyos és lassú lények összességéé, melybe mi magunk is beletartozunk.

Az egyetemes állandók — azon túl, hogy lerombolják a Világegyetem egyneműségét, hiszen bevezetnek egy fizikai skálát, melytől függően a viselkedések minőségileg különböznek egymástól —, a fizikai objektivitás új felfogását is maguk után vonják. A fizika törvényeinek alávetett lények nem közvetíthetnek jeleket a légüres térben terjedő fény sebességénél nagyobb sebességgel. Ebből adódik Einstein figyelemreméltó következtetése: többé nem lehet abszolút egyidejűségről beszélni két egymástól távol bekövetkező esemény esetében. Az egyidejűségnek csak egy sajátos viszonyítási ponthoz képest van értelme. Könyvünk felépítése nem teszi lehetővé, hogy itt kifejtjük a relativista fizika elveit. Elégedjünk meg azzal, hogy

észrevevessük: Newton törvényei nem kívánták meg azt, hogy a megfigyelő fizikai lény legyen, az objektivitás úgy jelentkezett a tárgy leírásában, hogy nem történt utalás a leíró alanyra. És ha elképzelünk olyan „nem fizikai” értelmes lényeket, akik képesek végtelen sebességgel kommunikálni, akkor az ő számukra, akiknek nézőpontja a régi objektivitás által feltételezett abszolút jelleggel rendelkezik, a relativitás törvényei hamisak lesznek. Az a tény, hogy a relativitáselmélet olyan kényszerűségeken alapul, mely csak fizikai megfigyelőkre érvényes, olyan lényekre, akik egyszerre csak egy helyen lehetnek, és nem egyidejűleg mindenütt, ebből a tudományból *emberi léptékű* fizikát csinál (ami nem szubjektív fizikát, kedvünk és meggyőződéseink termékét jelenti, hanem olyan fizikát, amely azoknak a lényegi kényszerűségeknél van alávetve, amelyeknek értelmében mi az általunk leírt világ részei vagyunk). S kísérleteink ezt a fizikát, mely a világban elhelyezkedő megfigyelőt tételez fel, és nem a másikat, elméletileg elképzelhető, abszolút fizikát támasztják alá napról napra. A természettel folytatott párbeszédünk a természetben belül zajlik, és itt a természet tényleges válaszokat csak azoknak ad, akik nyíltan elismerik, hogy ők is részei.

### 3. A galileánus tárgy vége: a kvantummechanika

A relativitáselmélet, ha módosította is a fizikai objektivitás régebbi elképzelését, érintetlenül megőrizte a klasszikus fizika egy másik alapvető jellemzőjét, nevezetesen azt a törekvést, hogy eljusson a természet „teljes” leírásához. A relativitáselmélet után a fizikus már nem támaszkodhat az Univerzumot kívülről figyelő démon elképzelésére, de még mindig elképzelhet egy matematikust, azt, akiről Einstein azt mondta, hogy sem nem csal, sem nem kockázik, azt, akinek birtokában van a Világegyetem képlete, amelyből matematikailag levezetheti a világot szemlélő összes lehetséges nézőpontot, az összes természeti jelenséget, úgy, ahogyan azok minden egyes lehetséges nézőpontból megfigyelhetők. Ebben az értelemben a relativitáselmélet még a klasszikus fizika meghosszabbításaként jelenik meg.

A kvantummechanika ellenben az első fizikai elmélet, amely valóban elvágott minden kötelet, s felhagyott minden viszonyítással a világról való isteni tudás alkotta szilárd ponthoz képest. A kvantum-

mechanika nemcsak elhelyez bennünket a természetben, hanem mint „súlyos”, makroszkopikus számú atomból álló lényeket azonosít bennünket. Azt mondják, hogy a fénysebesség egyetemes állandójának következményeit Einstein úgy akarta jobban megérteni, hogy elképzelte, amint meglovagol egy fotont. Ám a kvantummechanika felfedezte, hogy túlságosan nehezek vagyunk — mi vagy mérőeszközeink — ahhoz, hogy meglovagoljunk egy fotont vagy elektront. Lehetetlenég belebújnunk ily könnyű lények bőrébe, azonosulnunk velük, leírunk, hogy mit gondolnának, ha gondolkodnának, s mit tapasztalnának, ha érezhetnének valamit.

Több mint ötven évvel ezelőtt jutott Bohr, Heisenberg és néhány társuk erre a következtetésre, de még most sem könnyű megérteni ezt. Sőt, azok számára, akik — Einsteinhez hasonlóan — azért küzdenek, hogy a fizika ne mondjon le a „magábanvaló” elektron leírásáról, elvonatkoztatva a mérőeszközeink makroszkopikus jellege által meghatározott kényszerűségektől, elfogadhatatlan. Itt lesz világos, mi a tétje a „rejtett változók” nevezetes kérdésének: El tudjuk-e képzelni, hogy az elektronok és más kvantumfizikai létezők mozgását fizikai változók határozzák meg, még ha ezek a változók számunkra megfigyelhetetlenek is? Más szavakkal: Visszatérhetünk-e a klasszikus nézőponthoz? Nemrégiben ügyes próbálkozásokat tettek arra, hogy — legalább is részlegesen — kísérletileg döntsék el a kérdést. Mind ez ideig a válasz nemleges: az esetleges rejtett változók létének következményeit egyértelműen cáfolja a tapasztalat.<sup>170</sup>

A mi nézőpontunk teljesen más. Mint ahogy látni fogjuk, a kvantummechanika valójában az egység új fogalmát értelmezi a jelenségekkel kapcsolatban. A „hullámtulajdonságok” a mozgások „közös” jellegét jelölik, amely ismeretlen a klasszikus mechanikában. Márpedig a rejtett változók ellentétes helyzetre utalnának, azt várhatnánk, hogy hatásuk a mozgás rendezetlenségének növekedésében nyilvánul meg. Arra kell következtetnünk, hogy a probléma nem az, hogy (rejtett vagy nem rejtett) változókat mutassunk föl, hanem inkább az, hogy némelyiküktől megszabaduljunk.

A kvantummechanika története, akárcsak az összes többi fogalmi újításé, összetett történet, mely tele van váratlan eseményekkel, olyan logika története ez, melynek következményeit azután fedezték fel, hogy a kvantummechanikát magát a kísérleti párbeszédben sietősen megalkották. Itt most nem mondhatjuk el ezt a történetet, csak

emlékeztetünk arra, milyen váratlan módon járult hozzá a dinamikát manapság megújító közeledéshez, hidat építve a létezés eme tudománya és az átalakulások világa között.

A kvantummechanika kialakulását azoknak az új adatoknak a halmaza váltotta ki, amelyeket a klasszikus mechanika nem volt képes értelmezni, mint ahogy egy évszázaddal korábban képtelen volt kifejezni azoknak az új gépeknek a működési törvényeit is, amelyek nem a nehézkedés, hanem a tűz mozgatóerejét aknázták ki. Ezúttal megint a tüzet kell eszünkbe idéznünk, a hőt vagy az elektromos szikrát, amelyek egy kémiailag tiszta anyagra fejtik ki hatásukat, meg a fényt, amelyet a gerjesztett anyag bocsát ki vagy nyel el. A XIX. század végén már tudták, hogy minden egyes kémiai elem rá jellemző fényt bocsát ki, s ebben a fényben — a fehér fényvel ellentétben — nincs meg a frekvenciák folytonos összessége, csupán egy nem-folytonos spektrum. Amikor ez a fény alkotó frekvenciáira bomlik, nyomot hagy egy fényképlemezen, valóságos *aláírását* adja a kémiai elemnek, jellemző csíkok, fényerő- és frekvenciavonalak együttesét hagyja maga után. Miért sugároz egy gerjesztett atom nem-folytonos frekvenciák sorozatán? Milyen atomstruktúra magyarázhatja azt, hogy minden egyes kémiai elemnek saját színképe van? Az anyag spektroszkópos vizsgálatából származó adatok szolgálnak a kvantummechanika egyik történelmi kiindulópontjául.

Másrészt pedig az, hogy 1900-ban a fénysugárzás bizonyos tulajdonságainak vizsgálata Max Planckot arra indította, hogy bevezessen egy egyetemes állandót. Planck kutatásainak középpontjában az a törekvés állt, hogy az anyag—fény kölcsönhatás kutatásában végbevigye ugyanazt, amit Boltzmann az anyag—anyag kölcsönhatás területén már megcselekedett: a megfordíthatatlan változás kinetikai modelljének felfedezését. E („fekete testre” vonatkozó) kutatások során volt kénytelen belátni, hogy a kísérleti adatok egyedül az energia nem-folytonos eloszlásával (melynek „elemi szemcséje”  $h$ -val határozható meg) értelmezhető.

Megint a megfordíthatatlanság problémája volt az a kihívás, amely hozzájárult ahhoz, hogy a fizika újabb döntő lépést tegyen előre.

Planck felfedezése elszigetelt maradt, és mindaddig alig volt valamelyes visszhangja, amíg Einstein (1905) fel nem ismerte a  $h$  állandó általános jelentőségét, valamint következményeit a fény természetét illetően. Planck állandója a fény XVII. század óta jól ismert hullám-

természetét összeköti egy látszólag ellentmondó mozzanattal: a korpuszkularitással. A fényhullámot egy  $\nu$  frekvencia és egy  $\lambda$  hullámhossz jellemzi;  $h$  lehetővé teszi az átmenetet a frekvenciáról egy korpuszkuláris mennyiséghez, egy „energiaszemcséhez” vagy energiakvantumhoz ( $h\nu = \epsilon$ ), valamint lehetővé teszi az átmenetet  $\lambda$ -tól egy mechanikai mennyiséghez, az impulzushoz vagy mozgásmennyiséghez ( $h/\lambda = p$ ). Ezt a hullám/részecske kettősséget Louis de Broglie kiterjesztette az anyagra (1924), s ez volt a kvantummechanika — a klasszikus kategóriák, például az okság elvének felborítását magában foglaló — jelenkori kialakulásának kiindulópontja. Kezdetben azonban az energia kvantálása, melyet Einstein olyan problémákra alkalmazott, mint az alacsony hőmérsékletű fahő, annak a gondolatnak a felvetéséhez vezetett, hogy az atomok és molekulák nem folytonos módon változnak, hanem „átugranak” egyik diszkrét energiaszintről a másikra.

Niels Bohr volt az, aki ezt az új kvantummechanikát összefüggésbe hozta a kibocsátási és elnyelési színeképekre vonatkozó adatokkal, vagyis az atom problémájával. Bohr már 1913-ban kidolgozott egy elég egyszerűnek tetsző atommodellt, s ennek első látásra paradox posztulátumaiból született meg végül a kvantummechanika. Egy pozitív töltésű atommag körül negatív töltésű elektronok keringenek. Az első paradoxon az, hogy a töltéssel rendelkező elektronnak a klasszikus fizika feltételei értelmében sugárzást kellene kibocsátania, s így fokozatosan elveszítené energiáját, végül pedig belezuhanna az atommagba, vagyis a Bohr által meghatározott elektronpálya nem lehetne stabil. Bohr ezért feltételezi, hogy a klasszikus tudomány nem képes leírni az elektron mozgását, nyíltan kimondja az elektronpályája stacionárius jellegét és az elektron mozgásának konzervatív voltát. Azt állítja, hogy az elektron mindaddig nem sugároz, amíg pályáján kering, s meghatározatlan ideig akár ott is maradhat.

Az elektron csak akkor hagyhatja el pályáját, ha az atomot hatás éri, amikor egyik pályáról áttér a másikra, kisugároz vagy elnyel egy fotont, amelynek frekvenciája megfelel az elektron mozgását az egyes pályákon jellemző energiák különbségének. Innen származnak azok az elnyelési színeképek, amelyekben felfedezhetők azoknak a fotonoknak a fényfrekvenciái, amelyeket a magtól távolabbi pályákra átugró elektronok elnyeltek, valamint a kibocsátási színeképek, az atomok spontán kisugárzásai, amikor a gerjesztett állapotból vissza-

esnek a normális állapotba: az elektronok egy fotont bocsátanak ki, amikor a maghoz közelebbi pályára térnek át, ahol mozgásuknak kisebb lesz az energiája.

Magyarázatra szorul még a színeképvonalak nemfolytonos és egyedi jellege. Itt jutnak közvetlen szerephez a „kvantumszintek”. Második posztulátum: minden egyes atom számára csak bizonyos számú lehetséges pálya létezik; az elektron pályamozgásához kötött energia csak meghatározott értékeket vehet fel. Az atom spektroszkópiai aláírása, az általa kibocsátott vagy elnyelt színeképvonalak tehát az egyes atomok számára lehetséges energiaszintek különbségeit jelölik, lehetővé téve számunkra, hogy azonosítsuk és kiszámítsuk az egyes atom- vagy molekulatípusokra jellemző pályák összességének értékét, az egyes kémiai anyagok stacionárius kvantumállapotainak együttesét.

A Bohr-modell egyik következménye,<sup>171</sup> hogy — mivel a pályamozgás semmilyen energiát nem bocsát ki vagy nyel el — semmi mérhetőt nem tartalmaz, nincs kölcsönhatásban a külvilággal. Csak akkor tudhatunk meg valamit az elektronról, amikor egyik pályáról átugrik a másikra: ekkor megismerhetjük a két pályaszint energia-különbségét. Tehát csakis a pályák energiaszintjeit lehet megfigyelni és rekonstruálni, ám magáról a pályamozgásról, az elektron helyzetről az egyes pillanatokban és sebességéről nem lehet tudomásunk.

Bohr elmélete különös, kevert elmélet. Egyfelől még a klasszikus mechanika, különösen az integrálható rendszerek elméletének (lásd II. fejezet, 3. szakasz) terminusait használja; másfelől a klasszikus fogalmakhoz kiegészítő szabályokat (a kvantumszinteknek megfelelő pályák stacionárius jellege, csak az „ugrások” pillanatában történő kisugárzás) kénytelen „hozzáfűzni”.

Tanulságos összehasonlítani Bohr elméletét Boltzmannéval, amelyet az előző fejezetben magyaráztunk el. Mindkét esetben olyan alkotással van dolgunk, melyben nagy szerepet játszott a fizikai intuíció. Ebben az értelemben igazán ragyogó példái annak a természettel folytatott párbeszédnek, amelyet könyvünk bevezetésében említettünk. Az elképzelt modell mindkét esetben túlmutatott a korabeli tudományon: nem levezetést tartalmaztak, hanem ismeretlen földrészek felé törtek. A Boltzmann és Bohr által javasolt elméleti sémák lehetővé tették a kísérleti adatok jobb megértését, de még-



inkább előmozdították azokat a kutatásokat, amelyeknek termékenysége még ma is meghatározó tudományunkban.

Ami a kvantumelméletet illeti, Heisenberg, Jordan, Born, Schrödinger és Dirac voltak azok (az 1925–1927-es években), akik Bohr kísérletét — a klasszikus mechanikához hasonlatos eleganciával — összefüggő építménnyé alakították azzal, hogy beleillesztették az Einstein- és de Broglie-féle hullám/korpuszkula kettősséget.

Mindenekelőtt egy új, a klasszikus fizikában ismeretlen fogalomra volt szükség, mely lehetővé tette volna, hogy a „kvantálás” elméleti nyelvezetébe beillesszék azt a megfigyelt tényt, hogy egy atom kizárólag diszkrét állapotokban fordulhat elő. Ez elsősorban azt jelenti, hogy az energia (vagy a Hamilton-függvény) már nem lehet ugyanúgy a helyzetek és impulzusok egyszerű függvénye, mint volt a klasszikus mechanikában. Ennek hiányában, ha szomszédos értékeket adnánk ezeknek a helyzeteknek és impulzusoknak, az energia folytonos módon változna. Márpedig diszkrét energiaszintekkel van dolgunk.

Az a felfedezés, hogy a klasszikus dinamika fogalmai nem kielégítőek, elválaszthatatlan attól az általános „válsághangulattól”, amely az I. világháború után — különösen Németországban — vált uralkodóvá. Minden jel szerint sokan felszabadulásként, a megújulás ígéretként élték meg — Heisenberg mintájára, aki a fogalom megalkotója volt — egy teljesen új fogalom, az operátorfogalom bevezetését a fizikába.<sup>172</sup> Ám azt is meg kell jegyeznünk, hogy megalkotásuk társadalmi-kulturális közegétől függetlenül, az operátorok azért jelentek meg a fizikában, mert ez mindmáig az egyetlen pontosan megfogalmazott módszer a kvantálás ábrázolására.

Abból a célból, hogy megértsük azoknak az operátoroknak a szerepét, amelyeket Heisenberg és a kvantummechanika más megalapítói a klasszikus mechanika fizikai mennyiségeihez társítottak — így például a  $q$  helyzetkoordinátát, a  $p$  impulzusokat vagy a  $H(p, q)$  energiát —, még azokra a objektumokra is szükségünk van, amelyekre ezek az operátorok hatnak: „operálnak”. Vegyünk egy egyszerű függvényt, például „ $x^2$ ”-t, és végezzünk el rajta egy matematikai műveletet, mondjuk a deriválást, amit „ $d/dx$ ”-szel jelölünk; a művelet eredménye egy újabb függvény, jelen esetben „ $2x$ ”. Bizonyos függvények azonban különös módon viselkednek a deriválás során, ilyen például az exponenciális függvény: ha „ $e^{3x}$ ”-et

deriváljuk, „ $3e^{3x}$ ”-t kapunk, azaz az eredeti függvényt kapjuk, csak megszorozva egy számmal. Ezeket az operátor alkalmazásával újra megkapható függvényeket az operátor „sajátfüggvényeinek”, azokat a számokat pedig, amelyekkel a függvényt az operátor alkalmazása után megszoroztuk, az operátor „sajátértékeinek” nevezzük.

Így tehát minden operátornak megfelel a numerikus értékeknek egy halmaza, „raktára” — ez a halmaz alkotja az operátor *spektrumát*. Ez a spektrum lehet *diszkrét*, amikor a sajátértékek diszkrét sort alkotnak. Például van olyan operátor, melynek sajátértékei az összes egész szám: 0, 1, 2, ... A spektrum lehet folytonos is, például állhat a 0 és 1 közé eső összes számból.

A kvantummechanikában a klasszikus mechanika minden fizikai mennyiségének megfelel egy operátor, azok a numerikus értékek pedig, amelyeket a fizikai mennyiség felvehet, az operátor sajátértékei lesznek. Ami lényeges, az az, hogy az (operátor alakjában megjelölt) fizikai mennyiség fogalma elszakad az (operátor sajátértékeiként megjelenő) numerikus értékek fogalmától. Nevezetesen az energia ezentúl a Hamilton-operátor alakjában jelenik meg, a szintek — vagyis a megfigyelt energiaértékek — pedig ennek az operátornak a sajátértékei lesznek.

Ez a merész elméleti építmény az atom- és molekuláris fizikában ragyogó kísérleti bizonyítást nyert. A fizika előtt felmérhetetlen gazdagságú mikroszkopikus világot nyitott meg, és könyvünk egyik hiányossága, hogy csak kevés helyet tudunk szentelni ennek a vonzó területnek, ahol különösen szokatlan módon kapcsolódik össze az alkotó képzelet a kísérleti megfigyeléssel. Megelégszünk annak hangsúlyozásával, hogy a kvantummechanika olyannyira eredeti struktúrája felfedte: a mikroszkopikus világot új struktúrájú törvények szabályozzák, és egyszer s mindenkorra véget vetett annak a reménynek, hogy a Világegyetem egyetlen fogalmi sémával egységesen leírható.

Minden nyelvnek megvan a saját logikája, mely minden mondatában jelen van, de az egyes mondatokban csak részlegesen nyilvánul meg. Minden egyes matematikai nyelvezet, melyet azért dolgoztak ki, hogy kifejezzen egy sajátos helyzetet, megalkotói szándékán jócskán túlmenően, egy meglepetésekben roppant gazdag kísérleti mezőt nyit meg. A kvantummechanika struktúrájáról, amelyet a már ismert

kísérleti felfedezésekre építettek, kisvártatva kiderült, hogy új, tulajdonképpen ismeretlen fizikai tartalmat hordoz.

Ma, idő múltával, feltehetjük a kérdést, hogy milyen jelentőség tulajdonítható az operátorok bevezetésének. Történetileg az operátorok természetesen az energiaszintek létéhez kötődnek, és a későbbiekben látni fogjuk Niels Bohr értelmezését a komplementaritással együtt. De mint látni fogjuk, az operátorok ezentúl magában a klasszikus mechanikában is alkalmazhatók, ezért jelentőségük jóval nagyobb annál, mint ahogy a kvantummechanika megalapítói gondolhatták. Azt mondhatnánk, hogy — teljesen általánosan — az operátor fogalma ma már természetes módon mindannyiszor felmerül, amikor — ilyen vagy olyan okból — túl kell lépünk a pálya fogalmán, azaz statisztikai leírásra van szükségünk, mégpedig *akár a klasszikus, akár a kvantummechanikában*. A továbbiakban meg fogunk vizsgálni néhány okot, mely szükségessé teszi ezt a meghaladást. Egyszerre több is fennállhat belőlük, a lényeg ugyanaz: a fizikában a *pálya* és a belőle következő determinizmus *elhagyása* miatt van szükség az operátorfogalomra.

#### 4. Határozatlansági relációk és komplementaritás

Láttuk, hogy az „operátor” egy függvényre hat. Ha a függvény sajátfüggvény, akkor azt mondhatjuk, hogy az operátor által kifejezett fizikai mennyiségnek jól meghatározott értéke van, amely pontosan egybeesik megfelelő sajátértékével. Vegyünk most *két*,  $O_1$  és  $O_2$  operátorral jelölt fizikai mennyiséget. Vajon adhatunk-e nekik *egyszerre* jól meghatározott értékeket? Erre a kérdésre a kvantummechanika keretei között pontos válasz adható.  $O_1$  és  $O_2$  segítségével megalkothatjuk a két operátort,  $O_1O_2$ -t és  $O_2O_1$ -et. Ez a két operátor a műveletek sorrendjében különbözik:  $O_1O_2f = O_1[O_2f]$  azt jelenti, hogy előbb  $O_2$ -t alkalmazzuk  $f$  függvényre, majd  $O_1$ -et az eredményre, míg  $O_2O_1f$  a fordított sorrendnek felel meg. Általában az eredmények különböznek aszerint, hogy  $O_1O_2$ -t vagy  $O_2O_1$ -et alkalmazzuk-e, és ebben az esetben azt mondjuk, hogy  $O_1$  és  $O_2$  operátor nem cserélhető fel egymással. Vegyünk egy példát! Ha  $O_1$  operátor azt jelenti, hogy „megszorozni a  $q$  koordinátával”,  $O_2$  operátor pedig azt, hogy „deriválni  $q$  szerint”, akkor  $O_1O_2f = q[\partial f/\partial q]$ , és

$O_2 O_1 f = \partial/\partial q [qf]$ . Egy szorzat deriválási szabályából az következik, hogy  $(O_2 O_1 - O_1 O_2)f = (\partial/\partial q q - q \partial/\partial q)f = f$ , és mivel ez az eredmény bármilyen  $f$  függvény esetében igaz, rövidített formában így írjuk:  $O_2 O_1 - O_1 O_2 = 1$ .  $O_2 O_1 - O_1 O_2$  definíció szerint az  $O_1$  és  $O_2$  operátor *kommutátora*.

Most már megfogalmazhatjuk válaszukat a feltett kérdésre: jól meghatározott numerikus értékeket *egyszerre* csak akkor feleltethetünk meg  $O_1$ -nek és  $O_2$ -nek, ha ezek az operátorok felcserélhetőek, azaz  $O_1 O_2 = O_2 O_1$ . Csak ebben az esetben reprezentálható a rendszer olyan függvényekkel, amelyek egyidejűleg sajátfüggvényei  $O_1$ -nek és  $O_2$ -nek. Vegyünk előbb egy klasszikus példát! Nézzük meg az  $O_1 = q$ ,  $O_2 = \partial/\partial q$  operátorok alkalmazását a klasszikus  $\rho$  eloszlásfüggvényre a fázistérben (a  $q$  koordináták és a  $p$  impulzusok tere). Ez egyszerűen azt vonja maga után, hogy ha  $\rho$  sajátfüggvénye  $q$ -nak, akkor statisztikai eloszlása a koordináták körében a koordináta jól meghatározott értékére, a sajátértékre csökken, míg az összes többi valószínűsége nulla. Ellenben ha  $\rho$  sajátfüggvénye  $\partial/\partial q$ -nak, könnyen kimutatható, hogy a statisztikai halmaz *nem függ* a koordinátáktól; a koordináták összes értékeinek ugyanaz a valószínűsége. Így érthető, hogy ugyanazon  $\rho$  függvény nem lehet sajátfüggvénye *egyszerre*  $q$ -nak és  $\partial/\partial q$ -nak.  $\rho$  eloszlás nem felelhet meg egyszerre ugyanazon fizikai mennyiség jól meghatározott és meghatározatlan értékének, és a  $q$  és  $\partial/\partial q$  (vagy  $p$  és  $\partial/\partial p$ ) operátorok nem-kommutálhatósága pusztán *logikai lehetetlenséget* fejez ki.

Ez a nem-kommutálhatóság új és alapvetőbb értelmet nyer a kvantummechanikában. Mint ahogy a továbbiakban valamivel behatóbban tárgyaljuk majd, a  $h$  állandó a változók számát *csökkenti* ahhoz képest, amennyi szükséges volna egy klasszikus rendszer teljes leírásához. A mozgáskoordináták és mozgásmennyiségek ( $q$  és  $p$ ) nem függetlenek többé. A független változók számának e csökkenésére már az Einstein- és de Broglie-féle relációból — a  $\lambda$  hullámhosszt (hullámtulajdonság) a  $p$  mozgásmennyiséghez (korpuszkuláris tulajdonság) kötő  $\lambda = h/p$ -ból — is következtethettünk volna. Ily módon a Planck-állandó a hullámhosszakat (tehát a koordinátákat) mozgásmennyiségekhez köti. Pontosabban, a kvantummechanika operátorokat társít  $q$ -hoz és  $p$ -hez —  $q_{op} = q$  és  $p_{op} = h/2\pi i \partial/\partial q$  —, ami, mint ahogy láttuk, nem-kommutatívként határozza meg őket.

(vehetnénk  $q_{\text{op}} = h/2\pi i \partial/\partial q$ ,  $p_{\text{op}} = p$ -t is, a lényeg az, hogy a koordinátákhoz és mozgásmennyiségekhez társított operátorok soha nem cserélhetők fel).

Tehát új értelmet nyer a „logikai” lehetetlenség, amellyel a klasszikus mechanikában találkoztunk. A kvantummechanikában nem tulajdoníthatunk egyidejűleg jól meghatározott értéket  $p$ -nek és  $q$ -nak. Innen származik a határozatlansági reláció elnevezés, amelyet Heisenberg adott ennek a nem-kommutálható viszonynak.

A klasszikus mechanikában egész sorozatát vehetjük a  $\rho$  függvény által meghatározott halmazoknak; például egy eloszlás megfelelhet egy jól meghatározott értéknek  $q$ -ban és egy meghatározatlannak  $p$ -ben ( $p$  minden értékének ugyanaz a valószínűsége). Elérhetjük (ott, ahol a következő fejezetben tárgyalt instabilitási jelenség nem lép fel) egyetlen pálya határértékét is, mely megfelel egy olyan halmaznak, amelyet *egyszerre* jellemeznek  $q$  és  $p$  jól meghatározott értékei. A kvantummechanikában ez lehetetlen. Választhatunk egy  $q$ -ban vagy  $p$ -ben jól meghatározott halmazt, de nem lehetséges olyan halmaz, amely egyidejűleg jól meghatározott  $q$ -ban is,  $p$ -ben is. A kvantummechanika, melynek gyökeres újdonságát Bohr és Heisenberg annyira hangsúlyozták, így nem igényel szükségszerűen új logikát: ténylegesen megfelel ugyanannak az ellentmondás-mentességnek, mint a klasszikus formalizmus, de újradefiniálja az ellentmondás tartalmát.

Niels Bohr a klasszikus értelemben vett realizmussal való teljes szakítást hirdette. Kiemelte, hogy a Planck-állandó a kölcsönhatást egy kvantumfizikai rendszer és egy mérőeszköz között úgy határozza meg, mint ami nem felbontható. Tehát azok a mennyiségek, amelyeknek numerikus értékeit mérjük, a kvantumfizikai *jelenséghez*, a mérési művelet eredményéhez tartoznak. Ilyeténképpen minden leírás maga után vonja a szükségszerűen makroszkopikus mérési művelet *megválasztását*, annak a kísérleti eszköznek a kiválasztását, amelynek közvetítésével a rendszert megvizsgáljuk, vagyis annak a kérdésnek a kiválasztását, amelyet a kvantumfizikai rendszernek felteszünk. A kapott válasz nem teszi lehetővé, hogy felfedezzük az adott valóságot; a mért kvantumszám a rendszert abban az állapotban jellemzi, amelyben úgy *döntöttünk*, hogy előállítjuk és leírjuk, *kísérletileg* feltéve neki egy bizonyos kérdést, és nem egy másikat.

A klasszikus objektivitás azonosítja a rendszer objektív leírását — „amilyen az a maga valóságában” — a teljes leírással. Ebben az értelemben a kvantummechanika természetesen arra kényszerít bennünket, hogy újradefiniáljuk az objektivitás fogalmát, mely nem köthető a koordináták és impulzusok (vagy mozgásmennyiségek) egyidejű megfigyeléséhez. Ám ez az újradefiniálás sokkal általánosabb jellegű, mint ahogy Bohr gondolta, nem korlátozódik a kvantumfizikai „jelenség” problémájára, amelynek meghatározásában a mérési kölcsönhatás is részt vesz, hanem a klasszikus dinamika rendszereit is érinti, ahol az egyes pályákhoz vezető határátmenet lehetetlenné válhat.

Emeljük ki, hogy ez az új objektivitás véleményünk szerint semmi esetre sem a mérési művelet által okozott önkényes zavarokból származik, és nem ebben az értelemben kell érteni a dinamikához képest bekövetkezett,  $h$  által közvetített struktúraváltozást. Az a gyakran hallható értelmezés, mely a kvantummechanika alapjába helyezi a megfigyelésből eredő zavarok gondolatát, egy hamis helyzet kialakulásához vezet, melyben a „magábanvaló” rendszer — még ha a paraméterek egynémelyikében „zavart” okoz is a mérés — mintha valóban a paraméterek összességének jól meghatározott értékeivel volna jellemezhető. Tehát mintha a hagyományos realizmust egyszerűen kiegészítenénk egy megszorító pozitívista tiliommal: egy részecskének ne tulajdonítsunk egyidejűleg helyzetet és sebességet, mert ha az egyiket mérjük, akkor a másikat ellenőrizhetetlen módon befolyásoljuk.

Ezzel az értelmezéssel szemben, amely érintetlenül hagyja a fizikai valóság klasszikus elgondolását, de elvont szinten megtiltja, hogy hivatkozzunk rá, Bohr a kényszerű választás *pozitív* gondolatában rejlő újdonságot hangsúlyozta. A fizikus nem felfedezi a rendszerben rejlő adott igazságot, hanem olyan nyelvezetet kell választania, makroszkopikus fogalmak olyan együttesét, melyek segítségével a rendszernek megválaszolandó kérdéseket tehet fel. A választásnak ez a gondolata fejeződik ki a Bohr-féle komplementaritás elvében. Semmilyen nyelvezet, azaz a rendszer semmilyen felkészítése — mely lehetővé teszi, hogy egyik vagy másik operátor sajátfüggvényével ábrázoljuk — nem meríti ki a rendszer valóságát. A különböző lehetséges nyelvezetek, a rendszerre irányuló különböző nézőpontok *kiegészítik egymást*, mindegyikük ugyanarra a valóságra vonatkozik, de nem vezethetők vissza egyetlen leírásra. Az

ugyanarra a valóságra irányuló nézőpontok egymásra visszavezethetetlen volta egészen pontosan a mindenk fölötti nézőpont lehetetlenségét jelenti, azt, hogy nem lehetséges olyan nézőpont, amelyből a teljes valóság egyidejűleg látható lenne. A komplementaritáselv tanulsága nem a beletörődés, nem arról van szó, hogy az észre hallgatva le kell mondanunk, a túlságosan teljes vagy pontos leírásról. Bohr azt mondogatta, hogy nem tud szédülés nélkül bele-gondolni a kvantummechanika jelentőségébe, és valóban szédítő az elszakadás a józan ész szokásaitól, amikor megértjük, hogy minden makroszkopikus tulajdonság elszakíthatatlan attól a „megvilágítás-tól”, amelyet mi választunk a valósághoz, a valóság pedig túlságosan gazdag, kiemelkedései túlságosan bonyolultak ahhoz, hogy egyetlen fényszórá a maga teljességében megvilágíthassa.

A komplementaritáselv igazi tanulsága, az, amit átvihetünk az ismeretszerzés más területeire — Bohr egész életében erre törekedett —, kétségtelenül a valóságnak az a gazdagsága, amely túlmutat minden nyelvezeten, minden logikai struktúrán, minden fogalmi megvilágításon. Mindegyikünk csak egy részét ragadhatja meg a valóságnak, — *azt viszont sikerül megragadnia*. Mint ahogy a zene sem merül ki az egyes stílusokban, a hangok világa gazdagabb bármely zenei nyelvnél, melyek egyike — akár az eszkimók, akár Bach vagy Schönberg zenéje — sem képes a zenét magát kifejezni, de mindegyikük választást, sok mindent kiostáló kutatást, s ezért a teljesség lehetőségét jelenti.<sup>173</sup>

## 5. A kvantumidő

Mégis, még ha a kvantummechanika alapvetően megújította is a fizikát azzal, hogy először vezette be a nem-kommutatív operátorok, a különböző nézőpontok egymásba való átalakulásának fogalmát, maradt valami, aminek tekintetében hagyománytisztelő maradt, ez pedig az idő szerepének kérdése a kvantumfizikai folyamatokban. Ezen a szinten a hamiltoni dinamika logikája a változásnak ugyanazt a felfogását kényszeríti rá a kvantummechanikára, mint amelyet a dinamikában jelenített meg.

Akárcsak a klasszikus dinamikában, az operátorra lett energia a kvantummechanikában is középponti, sőt valójában kettős szerepet

játszik. A klasszikus Hamilton-függvény egyrészt a mozgás *invariánsa* volt: a rendszer energiájának egészét kanonikus változók formájában fejezte ki, s így állandó értéke az elszigetelt rendszer bármely dinamikai változása esetén megmaradt; a kanonikus egyenletek közvetítésével viszont ugyanennek a Hamilton-függvénynek a struktúrája határozta meg  $p$  és  $q$  változását, ugyanez a Hamilton-függvény tartalmazta a dinamikai mozgás *törvényét*. A  $H_{op}$  Hamilton-operátor is megadja sajátértékei révén a rendszer energiaszintjeit. Ráadásul a rendszer időbeli változását is megadja a Schrödinger-egyenlet segítségével, amely a kvantummechanikában Hamilton kanonikus egyenleteit helyettesíti.

A Schrödinger-egyenlet — ez a kvantummechanika alapegyenlete — struktúrája igen közel áll a Liouville-egyenletéhez, amelyet az előző fejezetben már idéztünk, és amelyet a következő alakban írunk fel:  $L\rho = i\partial\rho/\partial t$ . A Schrödinger-egyenlet pedig így írható fel:  $i\hbar/2\pi \partial\psi/\partial t = H_{op}\psi$ . A legnagyobb különbség a változóknak a kvantummechanikában megengedett számában van. Már láttuk, hogy a kvantummechanikában a  $q$  koordinátáknak és  $p$  impulzusoknak megfelelő operátorok nem függetlenek. Köti őket a határozatlansági reláció. Míg a  $\rho$  statisztikai eloszlás formája egyszerre függ a  $q$ -ktől és  $p$ -ktől, a kvantummechanika  $\psi$  hullámfüggvénye csak ezen változók *felétől* függ, vagy a  $q$ -nak megfelelő operátoroktól, vagy a  $p$ -nek megfelelő operátoroktól. Tehát a statisztikai leírás itt *irreducibilissé* lett, és a klasszikus pályához vezető határátmenet nem hajtható végre.

A  $\psi$  hullámfüggvénynek nincs egyszerű statisztikai értelme: lehet pozitív is, negatív is, és mint a Schrödinger-egyenletben szereplő  $i$  szimbólum mutatja, még csak nem is szükségszerűen valós mennyiség. De ha  $|\psi|^2$ -t vesszük, valós pozitív mennyiséget kapunk; ezt már tekinthetjük valószínűségnek. Így, ahogyan Max Born megmutatta,  $|\psi(q)|^2$  lehetővé teszi, hogy kiszámítsuk annak valószínűségét, hogy a  $q$  koordinátpontban egy részecskét találunk.

A  $\psi$  hullámfüggvényhez valószínűségeket rendelő szabály általánosabban a következő: egy mérési eredmény valószínűségének kiszámításához a  $\psi$  függvényt a szóban forgó fizikai mennyiséget képviselő operátor sajátfüggvényének megfelelően kell felírni, azaz  $\psi$ -t a következőképpen kell ábrázolni:  $\sum_i c_i u_i$  vagyis mint ezen „ $u_i$ ” sajátfüggvények *szuperpozícióját*. Minden egyes  $u_1 \dots u_n$  függvényt



egy  $c_1 \dots c_n$  együttható tart egyensúlyban, és minden egyes  $c_i$  lehetővé teszi annak a valószínűségnek a kiszámítását, hogy a rendszeren esetlegesen végrehajtott mérés megadja az  $u_i$  sajátfüggvénynek megfelelő sajátértéket.

Csak egyetlen eset van, amelyben a Schrödinger-egyenlet determinisztikus jósláshoz vezet: amikor  $\psi$  ahelyett, hogy sajátfüggvények *szuperpozíciója* lenne, közülük egyetlenegyre *redukálódik*. Így egy rendszert elő lehet készíteni olyaténképpen, hogy egy mérés eredménye előrelátható legyen. Ekkor „tudható”, hogy a rendszert a megfelelő sajátfüggvény írja le. Ám — itt újra felbukkannak a határozatlansági relációk — csakis *statisztikai* információk adhatók az azoknak az operátoroknak megfelelő mennyiségekről, amelyek nem cserélhetők fel azzal, amelynek egyik sajátértéke így határozódik meg.

Hangsúlyozni kell tehát, hogy  $\psi$  nem valamilyen önmagában megfigyelhető fizikai mennyiség, hanem a megfigyelhető mennyiségek által felvehető értékek különböző valószínűségeinek változását tartalmazza. Változása határozza meg a rendszer összes megfigyelhető időbeli változását. Már mondtuk, hogy a dinamikához hasonlatosan a folyamatot a Hamilton-operátor határozza meg:  $H_{op}\psi = \hbar i/2\pi \partial\psi/\partial t$ . S a Schrödinger-egyenlet — akár csak a klasszikus Hamilton-függvény által szabályozott dinamikai egyenletek —  $\psi$  megfordítható és *determinisztikus* változását eredményezi. Egy mozgáspálya megfordítható elmozdulásának megfelel a hullámfüggvény megfordítható változása. Másfelől, mihelyt ismert a hullámfüggvény egy adott pillanatban, a Schrödinger-egyenlet lehetővé teszi, hogy minden egyes megelőző vagy későbbi pillanatra is kiszámítsuk. Ebből a szempontból a helyzet teljesen megfelel a klasszikus mechanikának. Ez a következménye annak a ténynek, hogy a kvantummechanika határozatlansági relációi nem alkalmazhatók az időre. Az idő szám marad, nem válik operátorrá, márpedig csakis az operátorok jelenhetnek meg a határozatlansági relációkban. Ám a következő fejezetben meg fogjuk látni, hogy ez a következmény nem általános érvényű: egyes klasszikus vagy kvantumfizikai rendszerek lehetővé teszik egy másik idő, egy határozatlansági relációnak engedelmessé válását operátor-idő bevezetését. Ez figyelemre méltó következmény: a „létezés” és az „átalakulás” közti viszony maga is egy kiterjesztett komplementaritás tárgyává válik. De ne siessünk előre!

A rendszernek a Hamilton-operátor sajátfüggvényeinek formájában történő kifejezése nagyon pontos kvantumfizikai hasonmása a klasszikus integrálható rendszereknek a mozgás invariánsai alakjában történő kitüntetett ábrázolásának (II. fejezet, 3. szakasz). Így például a Bohr-féle atommodell a maga jól meghatározott energiaszintekkel rendelkező pályáival megfelel ennek az ábrázolástípusnak: annak valószínűsége, hogy az elektront az  $E_i$  energiájú stacionárius pályán találjuk, nem változik az idő múlásával. Általában a szuperponált *stacionárius állapotok*, amelyek ebben az ábrázolásban  $\psi$ -t alkotják, bármilyen egymással való kölcsönhatást nélkülözve változnak, úgy, mintha mindegyikük „egyedül lenne a világon”. Ebből még inkább kitűnik, hogy — a dinamikai egyenletekhez hasonlóan — a Schrödinger-egyenlet is olyan változást ír le, amelyben semmi új sem „keletkezhet”.

Márpedig tudjuk, hogy az elektron nem marad meg a végtelenségig pályáján, hiszen akkor nem is tudnánk leírni. Amikor a rendszer megzavarja egy, a külvilággal bekövetkező kölcsönhatás, visszafordíthatatlan átalakulás mehet végbe benne, az elektron stacionárius állapota megváltozhat, egyik pályáról a másikra ugorhat, és csak ennek a folyamatnak a következményeképpen ismerhetjük meg a rendszer különböző energiaszintjeinek értékeit. E megfordíthatatlan folyamat — mely szükséges ahhoz, hogy elérhetővé váljanak a stacionárius állapotokat megjelenítő adatok — bekövetkezése miatt vetődik fel újult erővel a megfordíthatatlanság problémája, melyet a kvantummechanika egyáltalán nem oldott meg.

Az a tény, hogy a hullámfüggvény változása nem teszi lehetővé a világgal azt a kölcsönhatást, amelynek eredményeképpen megismerjük a kvantumfizikai rendszert leíró adatokat, ma a kvantummechanikával foglalkozó fizikusok érdeklődésének középpontjában áll. Ez a probléma a mérés problémája.

Mint ahogy Niels Bohr és Leon Rosenfeld erőteljesen hangsúlyozta, bizonyos mértékben mindig, minden mérésben jelen van a *megfordíthatatlanság*, mindig bennük rejlik a megfordíthatatlan folyamatok — mint például az „adatok” fotokémiai rögzítésének megfelelő kémiai folyamatok — lehetősége.<sup>174</sup> Ez már a klasszikus mechanikára is igaz. A kvantumfizikai jelenségek esetében az adatok megszerzése nem azonosítható ideálisan az azonnali tér- és időbeli beméréssel. A rögzítéssel felerősödés jár együtt: egy mikroszkopikus

esemény hatást vált ki makroszkopikus szinten, a megfigyelésnek azon a szintjén, ahol a mérőeszközöket használni tudjuk. *A kvantumfizikai jelenség feltételezi a megfordíthatatlanságot.*

De az, hogy a mérés problémája újult erővel jelenik meg a kvantummechanikában, főleg azért van, mert végső soron a megfogalmazás szintjén vetődik fel. Ideális esetben a kvantumfizikai mérés előkészítést jelent: a (mérés előtt a mért fizikai mennyiségnek megfelelő operátor sajátfüggvényeinek *szuperpozíciójával* kifejezett)  $\psi$  hullámfüggvényt visszavezeti, „*leegyszerűsíti*” ezen sajátfüggvények *egyikére*. A mért rendszert így már nem írja le szuperpozíció, nincs többé valószínűségi eloszlás, ami azt mutatta meg, hogy a rendszer a mért mennyiség meghatározott értéke által jellemzett sajátállapotok mindegyikében megtalálható. Bizonyosan abban a sajátállapotban van, amelyet a mérés eredménye jelöl ki. A  $\psi$  hullámfüggvény eme *leegyszerűsítése* egyik összetevőjére nem megfordítható folyamat. Így nem is írható le a Schrödinger-egyenlettel.

A mérés tehát a kvantummechanika középponti problémája, nemcsak fizikai, hanem formális szempontból is. A kialakult vélemény szerint a kvantummechanikának posztulálnia kell két leegyszerűsíthetetlen változási típus együttes meglétét, a Schrödinger-egyenlet által leírt megfordítható és folytonos változást, valamint a mérés folyamán végrehajtott megfordíthatatlan nem-folytonos redukciót. Ez az együtt-létezés úgymond azért nem egyszerűsíthető le, mert a megfordítható változás nem fizikai mennyiséget ír le, hanem egy elvont egységet, mely tartalmazza a különböző mérések valószínűségeit, s így ennek a változásnak nincsen semmi értelme a meg nem fordítható mérés nélkül, mely persze képtelen leírására. A két — megfordítható és megfordíthatatlan — folyamat így összetartozóvá lett, hiszen a stacionárius állapot fogalma — meghatározása folytán — feltételezte lényegileg különböző folyamatok létezését. A kvantummechanika mintha képtelen lett volna arra, hogy zárt struktúrává alakuljon, s azzal az igénnyel lépjen fel, hogy minden fizikai változást determinisztikus, megfordítható, ekvivalens állapotból ekvivalens állapotba való átalakulásra vezessen vissza.

E nehézségek láttán egyes fizikusok megint csak a szubjektívizmusba menekültek, mondván, hogy *mi magunk*, a *mi* mérésünk, sőt egyesek szerint a *mi* szellemünk készíti a rendszer változását arra, hogy áthágja a természeti, „objektív” megfordíthatóságot.<sup>175</sup>

Mások szerint a Schrödinger-egyenlet nem „teljes”, azaz ki kell egészíteni olyan kifejezésekkel, melyek számolnak a mérés megfordíthatatlanságával. E két megoldás — melyek szoros párhuzamot mutatnak a megfordíthatatlanság problémájának megoldására tett javaslatokkal a klasszikus mechanikában — egyike sem elfogadható. A kvantummechanikában felmerülő járulékos probléma — a megfordíthatóság és a megfordíthatatlanság együtt-létezése — azt a tényt fejezi ki, hogy az a klasszikus idealizáció, amely a dinamikai világot „elszigeteltként” kívánta leírni, a mikroszkopikus világ szintjén lehetetlenség. Ezt hangsúlyozta Bohr, amikor arra figyelmeztetett, hogy az a nyelv, amelyen egy kvantumfizikai rendszert írunk le, rokon azokkal a makroszkopikus fogalmakkal, amelyek mérőeszközeink működését írják le. A Schrödinger-egyenlet nem a valóság alapvető szintjét írja le: lényegi módon tartalmaz bennünket is, azt a makroszkopikus világot, amelyhez tartozunk.

A mérés problémája a kvantummechanikában — tehát a kvantummechanika szintjén — annak az alapvető problémának felel meg, amely könyvünk gerincét alkotja, s ez az egyszerű világ, a hamiltoni pályák és a Schrödinger-egyenlet világa, valamint a makroszkopikus, bennünket tartalmazó világ összefüggésének problémája. A következő fejezetben meglátjuk, hogy a klasszikus megfordíthatatlanság ott kezdődik, ahol a pályák eszményítése inadekváttá válik. A mérés problémájának megoldása a kvantummechanikában ugyanilyen típusú lehet. Ebben az analógiában a hullámfüggvény egy — ezúttal kvantumfizikai — rendszer maximális, ideális ismeretének felel meg. A klasszikus esetben — csakúgy, mint a kvantumfizikai esetben — az elmélet ideális tárgyra való redukálása megfordítható változásokat tükröző egyenletekhez vezet. A megfordíthatatlanság és a mérési folyamat — ugyancsak mindkét esetben — olyan helyzeteknek felel meg, amelyekben ez az eszményi tárgy statisztikai halmazokkal helyettesítendő. Ennek a feladásnak a fizikai oka mindkét esetben ugyanaz: az instabilitás. Most ezt a fogalmat kell közelebbről megvizsgáljunk.

## IX. Az egyszerű és a bonyolult szintézise felé

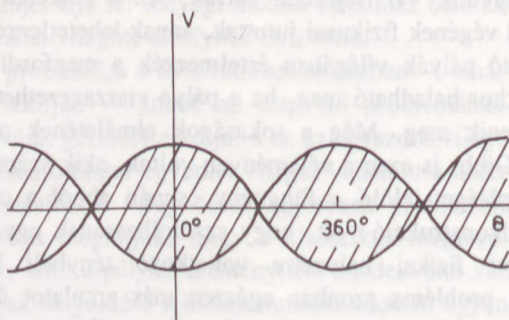
### I. A klasszikus fogalmak határán

Most már rátérhetünk a doktrínák ütközésének problémájára, mellyel könyvünk VII. fejezetét zártuk. Az a zsákutca, melybe a XIX. század végének fizikusai jutottak, annak lehetetlensége, hogy a megfordítható pályák világában értelmezzék a megfordíthatatlanságot, csak akkor haladható meg, ha a pálya visszavezethetetlen fogalomként jelenik meg. Még a sokaságok elméletének megalapítói, Einstein és Gibbs is ezen a véleményen voltak, akik számára a fázistérben a sűrűséget jelölő  $\rho$  függvény csupán abból a célból létrehozott segédkonstrukció volt, hogy számolhassanak egy szabatosan meghatározott fizikai helyzetre vonatkozó ténybeli információhiánnyal. A probléma azonban egészen más arculatot ölt, mihelyt kiviláglik, hogy bizonyos rendszertípusok esetében a pálya definíciójához szükséges, végtelenül pontos kezdeti feltételek meghatározásának gondolata nemcsak hogy idealizáció, hanem ráadásul inadekvát idealizáció. Ettől a pillanattól fogva az a tény, hogy *soha* nem egyetlen pályáról van ismeretünk, hanem pályák halmazáról a fázistérben, már nemcsak óvatos módja annak, hogy beismerjük ismereteink korlátait, hanem kiindulópontja is a dinamikai leírás újfajta felfogásának.

Itt megint beleütközünk a fázistérben vett bármilyen kis tartomány és a pályának megfelelő egyetlen pont közötti határátmenet problémájába. Lehetséges-e mindig ez a határátmenet? Ahhoz hogy megtudjuk ezt, tanulmányoznunk kell a fázistér *struktúráját*.

Az egyszerű esetekben az eloszlási függvényből a pontba való átmenet nem okoz nehézséget. Vegyünk egy ingát! A kezdeti feltételektől függően vagy leng, vagy tengelye körül forog: forgásához

az szükséges, hogy kinetikai energiája elég nagy legyen ahhoz, hogy ne „essen vissza”, mielőtt elérné a függőleges helyzetet. A fázis-térben ez a kétfajta mozgás elkülönült tartományoknak felel meg. Az ok egyszerű: a forgáshoz több energia szükséges, mint a lengéshez (11. ábra). Ha méréseinkből következik, hogy a rendszer kiinduláskor egy adott tartományban van, bizonyosak lehetünk afelől, hogy a rendszer melyik *mozgástípust* fogja felvenni. Növelhetjük méréseink pontosságát, elhelyezhetjük az inga kiindulási állapotát egy szűkebb tartományban az előbbi tartományon belül, ám mindez nem túl sokat nyom a latban, a rendszer dinamikai viselkedése felől mindenkor biztosak lehetünk; semmi új és váratlan nem fog bekövetkezni.



11. ábra Az inga mozgásának ábrázolása olyan térben, ahol  $V$  a sebesség,  $\theta$  pedig az inga eltérési szöge az egyensúlyhoz képest. A sávozott terület minden pontja lengési pályákhoz tartozó állapotoknak, a többi pont forgási pályáknak felel meg. E két tartományt két „elválasztó” görbe különíti el egymástól: egy olyan inga, melynek egyik állapota adott pillanatban egy elválasztó görbéhez tartozik,  $V = 0$  függőleges sebességgel fog érkezni a függőlegeshez ( $\theta = 180^\circ$ )

A XIX. században — elsősorban Poincaré ösztönzésére — lefolytatott dinamikai vizsgálódások egyik legmeglepőbb eredménye az, hogy általában *nem ez a helyzet*.

Jelöljünk + jellel egy pályatípust (például a lengést), és \*-gal egy másikat. A 11. ábra helyett, ahol a két tartomány világosan elkülönül egymástól, most kibogozhatatlan keveredést tapasztalunk (12. ábra).

Ha csak azt tudjuk, hogy rendszerünk kiindulási állapota egy adott tartományban helyezkedik el, ebből nem következtethetünk arra, hogy pályája + típusú, ugyanúgy lehetne \* típusú is. Hiába növeljük

a pontosságot, hiába térünk át kisebb tartományba, a bizonytalanság teljes marad. *Minden tartományban, bármilyen kicsi is, mindig lesznek olyan állapotok, melyek mind a két pályatípushoz tartoznak.*



12. ábra Gyenge stabilitású rendszer fázistere bármely — akármilyen kis — tartományának sematikus ábrázolása. Legalább két pályatípus állapotai figyelhetők meg, melyeket itt + jellel és \*-gal jelöltünk

Arra kell tehát következtetnünk, hogy ilyen rendszerek esetében a pálya fogalma *nem figyelhető meg*, s ehhez nem is fér kétség. Olyan lehetetlenségbizonyítás ez is, mint azok, amelyekkel a relativitáselmélet és a kvantummechanika alapjainál talákoztunk. Felfedi előttünk a newtoni idealizáció határait, s az idealizáció feltételezte függetlenség határait törvény és kezdeti feltételek között. Ez a függetlenség itt leromboltatik: a rendszer dinamikai törvénye elméletileg tarthatatlanná teszi a kezdeti feltétel meghatározásának eszményét. Minden + típusú pályát \* típusú pályák vesznek körül. Erről eszünkbe juthat egy ismerős helyzet, a számoké azon a tengelyen, amelyen minden racionális számot irracionális számok, s minden irracionális számot racionális számok vesznek körül. Gondolhatunk arra is, hogy miképpen képzelte el Anaxagorász az Univerzum teremtmő lehetőségeinek gazdagságát: minden dologban, minden részletben — a legapróbban is — minőségileg különböző, de szorosan összekeveredett csírák végtelen sokasága rejtőzik. A mi esetünkben is, a fázistér minden egyes tartománya minőségileg különböző lehetőségek sokaságát tartalmazza, s megőrzi képességét minőségileg különböző mozgások elindítására.

A különböző típusú pályák eme „szoros keveredése” a dinamikában gyakran megvalósul, olyannyira, hogy azt mondhatnánk, ez az általános eset. Így a determinisztikus pálya csak korlátozottan használható fogalomvá válik. Abban a mértékben, amilyen mértékben képtelenek vagyunk — nemcsak a gyakorlatban, hanem az

elméletben is — egyetlen pálya segítségével leírni a rendszert, s amennyiben a fázistér egy véges (bármilyen kis) tartományának megfelelő eloszlási függvényhez kell folyamodnunk, már csak a rendszer *statisztikai* jövőjével kapcsolatban bocsátkozhatunk jóslásokba.

Ne felejtjük el: a pálya „átfogó” fogalom, mely elvben önkényesen meghatározott hosszúságú időre vonatkozik. Egy pálya akár egymillió évig is periodikusnak tetszhet, majd megszűnhet annak lenni. Tehát levonható az a következtetés, hogy egy gyenge stabilitású rendszer pályatípusának meghatározásához végtelen pontosságra volna szükség, vagy *ad absurdum* víve a dolgot: ha végtelen ideig megfigyelhetnénk egy dinamikai rendszert, akkor tudnánk, hogy milyen típusú pályán mozog, s nem volna szükségünk semmilyen statisztikai összetevőre változásának megjóslásához. Ám nyilvánvaló, hogy *összeférhetetlenség* van a végtelen ideig tartó megfigyelés és a változás „megjóslása” között. A két tevékenység összekapcsolása már önmagában is a determinisztikus előrelátás gondolatának képtelenné tétele.

Léon Rosenfeld barátunk szerette azt mondogatni, hogy a fogalmakat csak *határaikból* érthetjük meg. Ebből a szemszögből ma már jobban érthető a klasszikus mechanika, melynek törvényei megvetették a mai tudomány alapjait.

De hogyan érkeztünk el ehhez az új nézőponthoz? Itt fel kell idéznünk a mechanika igazi újjászületését, melynek századunk volt tanúja. Ez a tudomány, mely látszatra a befejezett, tökélyre vitt és lezárt tudomány jellegzetes példája, valójában igen mély átalakuláson ment keresztül, s ezt most röviden át is fogjuk tekinteni.

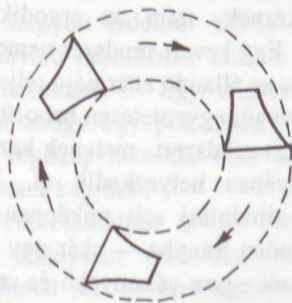
## 2. A dinamika újjászületése

Könyvünk első részében igyekeztünk úgy leírni a dinamikát, ahogyan az a XIX. században jelentkezett. Akkor az integrálható rendszerek voltak a dinamikai rendszer modelljei. Úgy látszott, hogy a követendő általános módszert a mozgásegyenletek elemzéséhez azoknak a „jó” koordinátáknak a megtalálása jelenti, amelyek értelmében a megfelelő pillanatok egyszerűen a mozgás invariánsai lesznek, azaz a mozgó entitások közti összes kölcsönhatások kiküszöbölődnek.



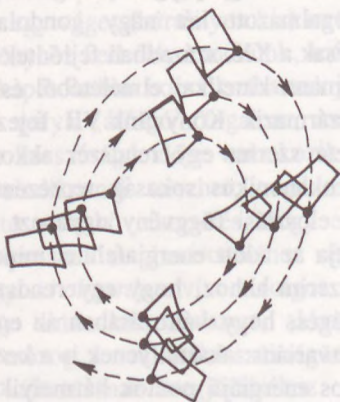
Ez az egyszerű és átfogó program megbukott, mégpedig a XIX. században megfogalmazott két nagy gondolati áramlat hatására, melyek azonban csak a XX. században fejlődtek ki teljes egészükben.

Az első Boltzmann kinetikai elméletéből és a sokaságok Gibbs-féle elméletéből származik. Könyvünk VII. fejezetében láttuk, hogy a sokaságok elmélete szerint egy rendszer akkor van egyensúlyban, amikor egy mikrokanonikus sokaság reprezentálja, azaz amikor neki megfelelő  $\rho$  eloszlási függvény ugyanazt a leképezési valószínűséget tulajdonítja az adott energiafelület minden pontjának. Tehát ezen elképzelés szerint ahhoz, hogy egy rendszer az egyensúly felé tartson, az szükséges, hogy változásában az energiamegmaradás legyen az egyetlen invariáns: akármilyenek is a kezdeti feltételek, a változásnak az azonos energiájú pontok bármelyikén át kell vezetnie a rendszert. Márpedig egy integrálható rendszer esetében az energia egyáltalán nem az egyetlen invariáns (II. fejezet, 3. szakasz). A változás valójában ugyanannyi invariánst enged meg, mint amennyi szabadságfokkal a változó rendszer rendelkezik. Így egy  $N$  szabadságfokú integrálható rendszer pályája nem hagyhatja el a fázistérnek azt a tartományát, melyet az  $N$  számú felület metszete alkot; mindegyik felületet az  $N$  invariánsok egyike határozza meg. A rendszer tehát az állandó energiájú felület nagyon kis szelvényének a „foglya” (13. ábra).



13. ábra Egy integrálható rendszer reprezentatív pontjaiból álló kiindulási térfogat jellemző fázistérbeli változásainak ábrázolása. A kiindulási térfogat megtartja alakját, és a folyamat során a fázistér egy korlátos tartományában marad

Maxwell és Boltzmann ezért bevezette az egy egészen másfajta dinamikai rendszer gondolatát. Ennek a rendszertípusnak a változása befutná az állandó energiájú teljes felületet, az „ergodikus” rendszert (14. ábra).



14. ábra Egy ergodikus rendszer reprezentatív pontjaiból álló kiindulási térfogat jellemző fázistérbeli változásainak ábrázolása. A kiindulási térfogat megtartja alakját, de spirális pályája miatt bejárja az egész teret

Csak az 1930-as évektől — Birkhoff, Neumann, Hopf és mások kutatásainak köszönhetően — öltött pontos matematikai formát az ergodikus rendszer gondolata, s csak azóta alkalmazzák a matematika és a fizika számos ágában. Ezek a munkálatok olyan rendszerek meghatározását is lehetővé tették, amelyek még erősebb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az ergodikus rendszer: ezek a „kevert” rendszerek. Egy kevert rendszer nemcsak befutja — mint az ergodikus rendszer — az állandó energiájú teljes felületet, hanem úgy oszlik el rajta, hogy végül egyenletesen beborítja (15. ábra).<sup>176</sup>

Vegyünk egy kevert rendszert, melynek kezdeti feltétele a fázistér egyik kis tartományában helyezkedik el. Változása során látni fogjuk, hogy ez a kiindulási sejt miképpen csavarodik meg, miképpen küld szét minden irányba — akár egy amőba — „állábakat”, miképpen húzódik szét egyre vékonyabb és csavarodottabb száakra, míg végül az egész teret elfoglalja. Semmilyen rajz nem adhatja vissza a végső helyzet bonyolultságát. Valóban, egy kevert rendszer dinamikai változása során a fázistérben két, egymáshoz bármilyen közeli — tehát két, egymáshoz bármilyen mértékben hasonló rendszert képviselő — pont minden pillanatban teljesen különböző irányok felé indulhat. Még ha sok információnk van is a rendszerről, még ha reprezentatív pontjainak kiindulási sejtje nagyon kicsi és

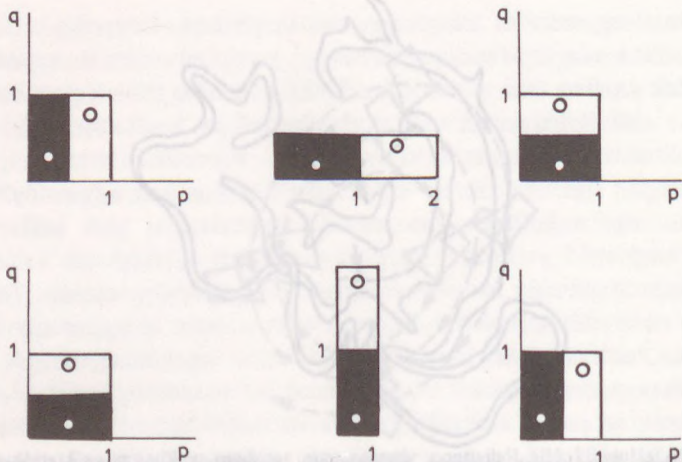


15. ábra Egy kevert rendszer reprezentatív pontjaiból álló kiindulási térfogat jellemző fázistérbeli változásainak ábrázolása. A térfogat megmarad, de megváltoztatja alakját, és fokozatosan kiterjed az egész térre

egyszerű formájú is, a változás során — vékony, elágazó szálait szertehúzva a fázistérben — valóságos geometriai „szörnyé” válik.

Mutassunk egy példát, melyből megérthető a végső helyzet, s melyet a „véletlen” és a „szükségszerűség” figyelemreméltó együtléte jellemez. Ez a tisztán matematikai példa kissé leegyszerűsített, de azért nagyon érdekes. Olyan transzformációról van szó, melyet a nyilvánvaló hasonlóság okán a matematikusok „péktranszformációnak” neveznek.<sup>177</sup> Egy négyzetből indulunk ki, az első művelet — mint ahogy egy pék tenné — az, hogy téglalappá húzzuk szét, majd a téglalap második felét visszahajtjuk az elsőre, hogy egy újabb négyzetet kapjunk.

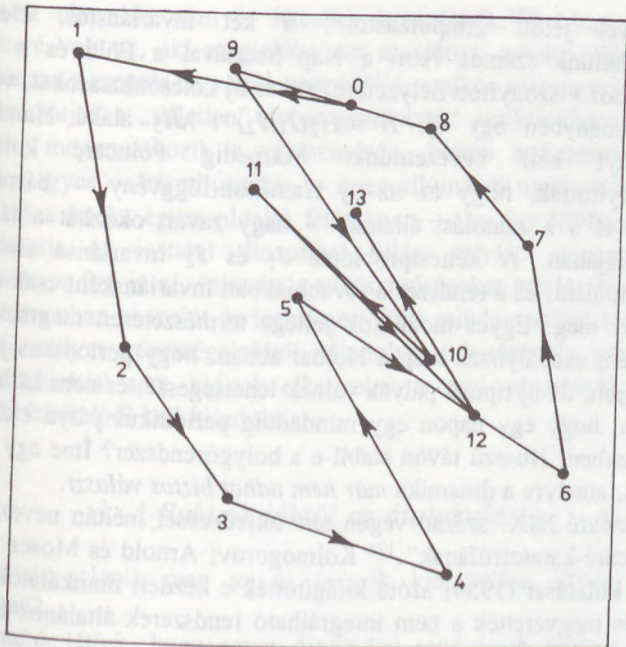
Ezeket a műveleteket láthatjuk a 16. ábrán. Annyiszor ismételhetjük meg őket, ahányszor csak akarjuk, a négyzet felülete minden egyes alkalommal fel- és újraosztódik. Ha a szóban forgó négyzet alkotja a fázisteret, akkor látható, hogy a péktranszformáció minden egyes pontot egy újabb jól meghatározott ponttá alakít. A 17. ábrán láthatjuk annak a pontsorozatnak a példáját, melyet egy kiindulási pontból a péktranszformációval kaptunk. De ha a transzformációból származó pontok sorozata determinisztikus is, a rendszernek semmi másra vissza nem vezethető statisztikai ismertetőjegyei is vannak. Vegyünk például egy rendszert, melyet az a



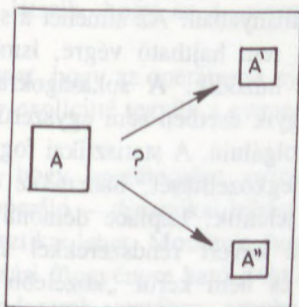
16. ábra A péktranszformáció (B) és a fordított transzformáció ( $B_{-1}$ ) lépései. A lépések követésével képet kaphatunk a két transzformációról

kezdeti feltétel ír le, hogy a négyzet egy  $A$  tartománya kezdetben egyenletesen telített reprezentatív pontokkal. Kimutatható, hogy a péktranszformáció elégséges számú alkalmazása után ez a felület — bármekkora a nagysága és elhelyezkedése — széttöredezik. A lényeges itt az, hogy nagyságától függetlenül *minden tartomány* különböző típusú pályákat tartalmaz, melyek mindannyiszor elkülönülnek egymástól, valahányszor a tartomány széttöredezik. Így egy pont változása determinisztikus, de minden tartomány — bármilyen kicsi is — leírása statisztikai jellegű. Csupán annak valószínűségéről beszélhetünk, hogy egy rendszer, melynek kezdeti feltétele megfelel egy tartománynak, ezt vagy azt a pályatípust követi-e.

A kevert rendszerek nem az egyedüliek, amelyek statisztikai tulajdonságokat mutatnak. A második kutatássorozat, mely az integrálható rendszer feladásához vezetett, a dinamika egyik legklasszikusabb problémáját, az égi mechanika problémáját, vagy pontosabban a „háromtestproblémát” érintette. A Nap, a Föld és a Hold alkotta rendszer a három testből álló rendszer klasszikus példája. A két testből — Föld és Hold — álló rendszer integrálható rendszer: meghatározható egy Hamilton-függvény, amely megfelelő átalakítások után már nem a két test helyzetétől függ, hanem csupán két,  $J_1$ -gyel



17. ábra  $A$   $q = 0,5456$ ,  $p = 0,8558$  kezdeti koordinátájú pont egymást követő helyzetei a péktranszformáció tizenháromszoros alkalmazása után; a vonalak csupán interpolációk



18. ábra  $A$  felület széttöredezése után determinisztikus úton nem állapítható meg, hogy melyik töredékben található meg egy eredetileg  $A$ -ban lévő rendszer

és  $J_2$ -vel jelölt „impulzustól”, a két invariánstól. De ha megpróbálunk számot vetni a Nap hatásával a Föld és a Hold egymáshoz viszonyított helyzetére, akkor új kölcsönhatásokat, vagyis végeredményben egy új,  $H = H_2(J_1, J_2) + \lambda H_3$  alakú Hamilton-függvényt kell bevezetnünk. Márpedig Poincaré kutatásai bebizonyították, hogy ez az új Hamilton-függvény — bármilyen gyenge is a  $\lambda$  csatolási állandó — nagy zavart okozhat a fázistér struktúrájában. A kéttestprobléma  $J_1$  és  $J_2$  invariánsa általában megsemmisül, és a rendszer a továbbiakban invariánsként csak magát  $H$ -t tűri meg. Egyes mozgások jellege természetesen megmarad: a Nap nem akadályozza meg a Holdat abban, hogy periodikus pályán mozogjon, de új típusú pályák válnak lehetségessé, és nem zárható ki az sem, hogy egy napon egy mindaddig periodikus pálya eltűnik a végtelenben. Hosszú távon stabil-e a bolygórendszer? Íme egy olyan kérdés, amelyre a dinamika *már nem adhat biztos választ*.

Poincaré XIX. század végén tett felfedezését méltán nevezhetjük „Poincaré-katasztrófának”.<sup>178</sup> Kolmogorov, Arnold és Moser sokkal újabb kutatásai (1954) azóta kitágították e kezdeti munkálatok kereteit, és megvetették a nem integrálható rendszerek általános elméletének alapjait.<sup>179</sup>

Hangsúlyozni kell egy fontos dolgot. Akár a most említett nem integrálható rendszerekről, akár a kevert rendszerekről van szó, a rendszereket mindkét esetben pályáik *gyenge stabilitása*, a különböző típusú pályák szoros keveredése jellemzi a fázistér *minden* — bármilyen kis — tartományában. Az átmenet a sokaságtól az egyedi pályára egyik esetben sem hajtható végre, ismereteink határa a  $\rho$  eloszlási függvénynél húzódik. A sokaságokra vonatkozó kifejezésekkel való leírás egyik esetben sem egyszerűsíthető tovább: kiindulópontként *kell* szolgálnia. A statisztikai fogalmak többé nem az „objektív igazság” megközelítését, hanem az egyetlen elméletileg elképzelhető eszközt jelentik. Laplace démonja a nem integrálható rendszerekkel vagy a kevert rendszerekkel szemben ugyanolyan tehetetlen, mint mi, és nem kerül „közelebb” a determinisztikus leíráshoz. Laplace démonja meghalt, mert már nem pontos megfigyelője annak, ami felé a fizikai leírás tarthat.

Einstein ezt mondta: „Isten nem kockázik!”, s Poincaré úgyszintén figyelmeztetett arra, hogy egy végtelenül hatalmas szellem

számára nincs és nem is létezhet házárdjáték.<sup>180</sup> Mégis, éppen Poincaré volt az, aki megjelölte azt az irányt, amely felé tapogatózva ma a megoldást véljük megtalálni, amikor megjegyezte, hogy pontosíthatjuk a „véletlen” dobás gondolatát: amikor eldobunk egy kockát, megmutatkozik a valószínűség, hiszen a kezdeti feltétel minden egyes — bármilyen kis — intervallumból ugyanannyi pálya indul el a kocka egyes oldalai felé. Isten — ha úgy kívánja — kiszámíthatja az instabil dinamikai világ pályáit: ugyanarra az eredményre fog jutni, mint ha a valószínűségeket mérlegelte volna. Ehhez azonban abszolút és természetfölötti mindentudását kell latba vetnie, melyet képességeinkből kiindulva a határérték semmilyen meghaladásával sem tudunk elképzelni, s egy végtelenül pontos kezdeti feltételből kell kiindulnia.

### 3. A fluktuációktól az átalakulásig

Hogyan jelenik meg az új formák kialakulása ebben az új távlatban?

Fentebb láttuk, hogy egyes dinamikai rendszerek gyenge stabilitása még a klasszikus mechanika keretein belül is megköveteli a statisztikai leírást. Ez az eredmény azért is érdekes, mert számos tudós, akit a kvantummechanika statisztikai ismertetőjegyei megzavartak, igyekezett visszaállítani jogaiba a determinizmus klasszikus normáját. Ma már látszik, hogy ez a „norma” igencsak részleges érvényű.

Elérkezett a pillanat, hogy az operátorok nyelvezetéhez forduljunk abból a célból, hogy explicitte tegyük a gyenge stabilitású rendszerek új tulajdonságait.

Valóban, láttuk, hogy operátorokat vezethetünk be, mihelyt a teljes — pályákkal operáló — dinamikai leírást felváltja egy olyan leírás, mely csak statisztikai lehet. Mondtuk, hogy példának okáért bevezethetők a  $\rho$  eloszlási függvényre ható  $\partial/\partial p$  és  $\partial/\partial q$  operátorok. A nagy stabilitású rendszerek esetében azonban az eloszlási függvénnyel történő leírás helyébe a determinisztikus leírás léphet, s így az operátorokra már nincs szükség. A gyenge stabilitás viszont a dinamikai rendszereket semmire vissza nem vezethető, véletlenszerű jelleggel ruházza fel, s ezért az operátorok a leírásban olyan szerep-

hez jutnak, melyet már nem szüntethet meg semmilyen, a determinisztikus leírásra való áttérés.

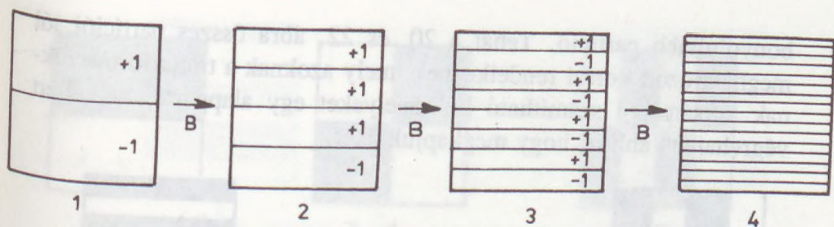
Már ismerünk olyan operátort, mely egy klasszikus eloszlásfüggvényre hat, ez a Liouville-operátor, mely megadja a függvény időbeli változását. A Liouville-egyenlet:<sup>181</sup>  $i\partial\rho/\partial t = L\rho$ . Már jeleztük a hasonlóságot  $e$  között az egyenlet és a Schrödinger-egyenlet között. A hagyományos dinamikai nézőpontból az  $L$  operátor és a Hamilton-operátor között ugyanolyan viszonyok vannak, mint a  $\rho$  függvény és a pálya között. Mindannyiszor függőségi viszonyt látunk valami „valóságosabbhoz”, valami „objektívabbhoz” képest. Ám a gyenge stabilitású rendszerek esetében  $L$  már nem tekinthető a hamiltoni dinamikából levezethető konstrukciónak, hanem elsődleges fogalommá válik. S feltehetjük a kérdést — aminek a hamiltoni keretek között nem lenne létjogosultsága —, hogy vajon nem lehetséges-e bevezetni még újabb, fontos fizikai jelentéssel rendelkező operátorokat is. Különösen azért, mert az  $L$  operátor — a Liouville-egyenlet értelmében — a  $\partial/\partial t$  változáshoz kötött. Vajon nem lehetne olyan operátort találni, mely magához az időhöz kapcsolódik? Egy efféle operátor bevezetése lehetővé tenné, hogy új módon rögzítsük az általa leírt „létezés” és az  $L$  operátor által leírt „átalakulás” kapcsolatát, ugyanabból a logikai okból kiindulva, amely a  $q$ ,  $\partial/\partial q$  és  $p$ ,  $\partial/\partial p$  operátorpárok nem-kommutatív jellege mögött állt.

Valójában mindnyájan ismerünk olyan rendszereket, amelyekben a folyamat — definíciója szerint — nem vezethető le egy pillanatnyi állapot — bármilyen részletes — leírásából. Ilyen a szerencsejátékok, a már említett kockajáték vagy a rulett esete: a rendszer változása, a golyó vagy a kocka pályája soha nem jósolható meg bizonyossággal a kiindulási helyzet alapján.

Csoportunk és különösen Misra kutatásai jóvoltából a feltett kérdésre igenlő választ adhatunk.<sup>182</sup> Bevezethetünk egy  $T$ -vel jelölt „idő” vagy „kor” operátort, azzal a (szükséges) feltétellel, hogy a  $\rho$  eloszlásfüggvény nem vezethető vissza, nem váltható fel egy pályákkal operáló leírásra. De mielőtt folytatnánk a dinamika  $e$  kiterjesztésének elemzését, tekintsünk vissza a „péktranszformáció” példájára, melyet azért idézünk fel, hogy megmutassuk, miként lehet meghatározni egy rendszer korát.

Vegyünk egy függvényt, melyet a péktranszformáció fázisterét alkotó négyzetre definiáltunk. Legyen ez olyan függvény, amely csak



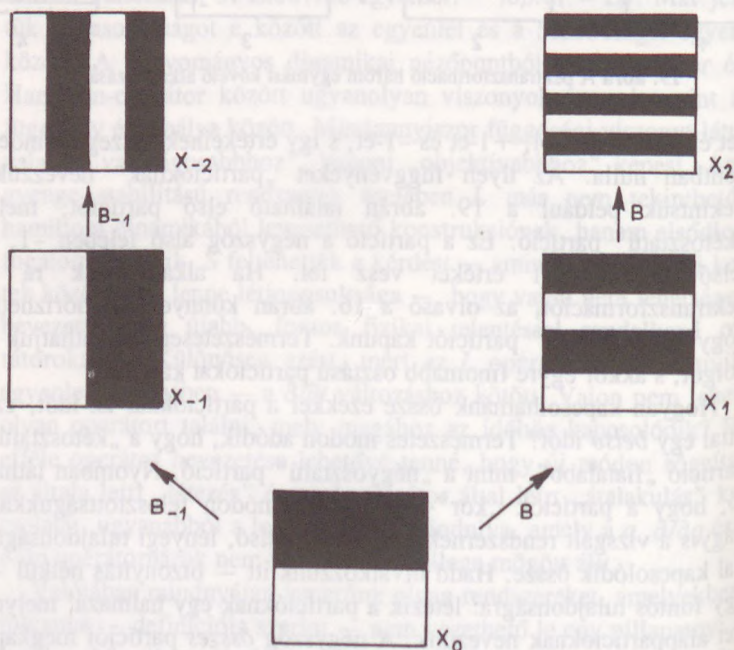


19. ábra A péktranszformáció három egymást követő alkalmazása

két értéket vehet föl,  $+1$ -et és  $-1$ -et, s így értékeinek összege minden pontban nulla. Az ilyen függvényeket „partícióknak” nevezzük. Tekintsük például a 19. ábrán található első partíciót, mely „kétosztátú” partíció. Ez a partíció a négyszög alsó felében  $-1$ , a felső felében  $+1$  értéket vesz fel. Ha alkalmazzuk rá a péktranszformációt, az olvasó a 16. ábrán könnyen ellenőrizheti, hogy „négyosztátú” partíciót kapunk. Természetesen folytathatjuk a dolgot, s akkor egyre finomabb osztású partíciókat kapunk.

Hogyan kapcsolhatnánk össze ezekkel a partíciókkal az időt, ezáltal egy *belső* időt? Természetes módon adódik, hogy a „kétosztátú” partíció „fiatalabb”, mint a „négyosztátú” partíció. Nyomban látható, hogy a partíciók „kor”-fogalma ily módon felosztottságukkal, vagyis a vizsgált rendszernek éppen egy *belső*, lényegi tulajdonságával kapcsolódik össze. Hadd hivatkozzunk itt — bizonyítás nélkül — egy fontos tulajdonságra: létezik a partícióknak egy halmaza, melyeket alappartícióknak nevezünk. A négyszög összes partíciói megkaphatók ezekből az alappartíciókból a péktranszformáció önkényes — pozitív vagy negatív —  $k$  számú alkalmazásával. A 20., 21. és 22. ábrán olyan sémákat láthatunk, amelyeken a sötét tartomány pontjainak  $+1$ , a világos tartomány pontjainak pedig  $-1$  értéket adtunk.  $\chi_0$  partíció tehát azonos a 19. ábra „kétosztátú” partíciójával. A 20. ábra a  $\chi_0$  alappartíció átmenetét mutatja  $\chi_1$ ,  $\chi_2$ ,  $\chi_{-1}$ ,  $\chi_{-2}$  stb. partíciókba a péktranszformáció és annak inverze következtében. A 21. ábra azt mutatja, miként kaphatunk más, bonyolultabb alappartíciókból,  $\chi_0$ -ból kiindulva, olyan partíciókat, melyek már nem „osztottak”, hanem megtartják a két szükséges tulajdonságot: csak két értéket,  $+1$ -et és  $-1$ -et vesznek fel, s ezen értékek összege a négyzet minden pontjában nulla. A 22. ábra megmutatja, hogy az egyenes és fordított péktranszformációk hatására hogyan változik egy ilyenfajta,

bonyolultabb partíció. Tehát a 20. és 22. ábra összes partíciói jól meghatározott korral rendelkeznek, mely azoknak a transzformációknak a számából számítható ki, amelyeket egy alappartíción kellett végrehajtani ahhoz, hogy megkapjuk őket.



20. ábra Egy  $X_0$  alappartíció egyenes és fordított péktranszformációkból eredő módosulásai

Miért időztünk ennyit a partíciók vizsgálatánál? Azért, mert a korfogalom, mely teljesen természetesen jelenik meg velük kapcsolatban, könnyűszerrel kiterjeszhető egy, a fázistérre definiált  $\rho$  statisztikai eloszlásfüggvény általános esetére. Mindazonáltal meg kell jegyeznünk, hogy — a partícióval szemben, mely csak  $+1$ , illetve  $-1$  értéket vehet fel — az eloszlásfüggvény azzal az egyetlen feltétellel, hogy a négyzetben vett összegnek egységnyinek kell lennie, az összes pozitív vagy nulla értéket felveheti ( $\rho$  egy valószínűség). A partíciók tehát nem lehetnek eloszlások, de egyik fogalomról könnyedén áttérhetünk a másikra. S valóban, bontsuk fel



$X$



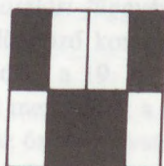
$X_{-1}X_0$



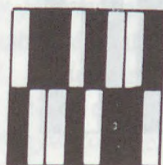
$X_{-2}X_0$



$X_{-3}X_0$



$X_{-2}X_{-1}X_0$

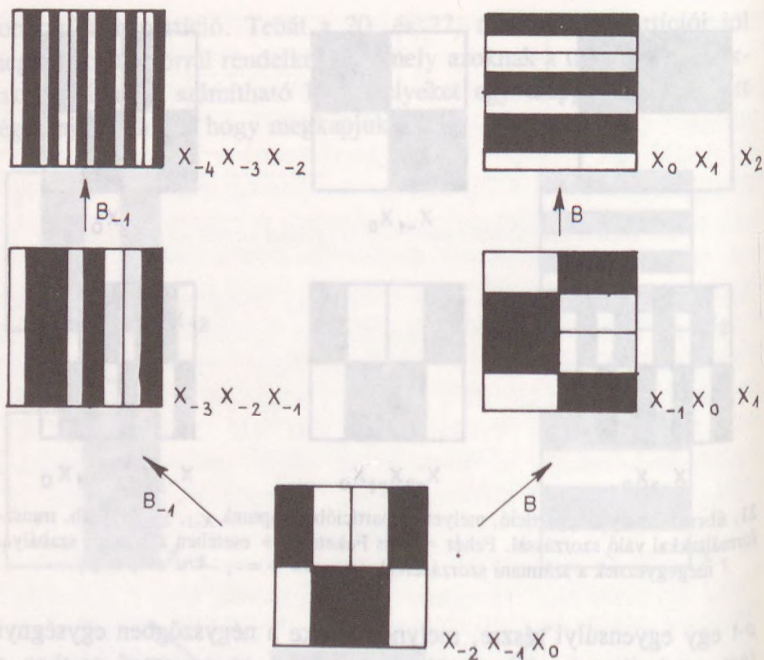


$X_{-3}X_{-2}X_{-1}X_0$

21. ábra Néhány alpartíció, melyet  $X_0$  partícióból kaptunk  $X_{-1}$ ,  $X_{-2}$ ,  $X_{-3}$  stb. transzformáltakal való szorzással. Fehér = - és Fekete = + esetében a szorzás szabályai megegyeznek a számtani szorzáséival: (+ · - = -; + · + = +; - · - = +; - · + = -)

$\rho$ -t egy egyensúlyi részre, melynek értéke a négyszögben egységnyi (ezt az értéket 1-nek vesszük, mert ebben az egyszerű esetben a fázistér felülete egyenlő 1-gyel), valamint egy  $\bar{\rho}$  különbségi részre. Így  $\rho = 1 + \bar{\rho}$ . A  $\bar{\rho}$  különbség,  $\rho$ -val ellentétben, negatív éppúgy lehet, mint pozitív, feltéve, ha  $\rho$  teljesíti a szükséges feltételeket (ami azt vonja maga után, hogy a  $\bar{\rho}$ -k összege a négyzetben nulla). Minden egyes partíciónak megfelelően tehát egy  $\bar{\rho}$ , s ezeknek a  $\bar{\rho}$ -knak a kora jól meghatározott, egybeesik a partícióéval. A megfelelő  $\rho (= 1 + \bar{\rho})$  teljes eloszlásfüggvénynek is ezt a kort tulajdoníthatjuk. Tegyük fel, hogy  $\bar{\rho}$  különbségeloszlást a 19. ábra 1. partíciója adja meg.  $\rho$  függvényre a 23. ábrán látható megoszlást kapjuk. Itt tényleg statisztikai eloszlásfüggvényről van szó, mert  $\rho$  mindenütt pozitív vagy nulla, az összegezés eredménye pedig a négyszögben 1. Ugyanígy, ha a 19. ábra 2. partíciójából indulunk ki, a 24. ábra statisztikai eloszlását kapjuk.

A 23. és 24. ábra eloszlásainak kora tehát jól meghatározott, egybeesik azon partíciók korával, amelyeknek a különbségeloszlások megfelelnek. A 23. ábrán látható eloszlás kora 1, a 24. ábra eloszlásáé 2. Ám ezzel a probléma nincs megoldva, mert *nem feleltethető*



22. ábra  $X_{-2}X_{-1}X_0$  alpartíció módosítása  $B$ -vel és  $B_{-1}$ -gyel

+2
0

23. ábra Az 1. korpartícióból konstruált eloszlásfüggvény

+2
0
+2
0

24. ábra A 2. korpartícióból konstruált eloszlásfüggvény

+2
+1
+1
0

25. ábra Az 1. és a 2. korpartíció félösszegéből konstruált eloszlásfüggvény

meg minden különbségeloszlási függvény egy-egy jól meghatározott korpartíciónak.  $\bar{\rho}$ -kat különböző korpartíciók kombinálásával konstruálhatunk.  $\bar{\rho}$  legyen például a 19. ábra 1. és 2. partíciójának félösszege. Nehézség nélkül megkapjuk a 25. ábrán látható eloszlást.  $\rho$  függvény ismét kielégíti az összes követelményt, vagyis kora nem jól meghatározott, hanem csak *átlagos* kor.

Ez a helyzet megköveteli egy belső, *operátorként* és nem pusztán számként viselkedő idő bevezetését. A kvantummechanikának szentelt fejezetben valóban láttuk, hogy egy operátort sajátfüggvényei és sajátértékei jellemeznek. Az alappartíciók (21. ábra) megfelelnek  $T$  1 sajátértékkel rendelkező sajátfüggvényeinek; a péktranszformáció  $k$  számú alkalmazásával kapott partíciók  $k + 1$  sajátértékkel rendelkező sajátfüggvények. Ezek a  $T$  konstrukciójára vonatkozó alapvető szabályok. Ha most a  $\rho$  eloszlásfüggvényt (vagy inkább a  $\bar{\rho} = \rho - 1$  különbséget) tekintjük, ez a függvény — a mondottak értelmében — lehet is, meg nem is  $T$  sajátfüggvénye. A 23. és 24. ábrának megfelelő eloszlások azok, sajátértékük 1, illetve 2; a 25. ábrán látható nem az, ami 1 és 2 korkeveredéséből következik.

Noha egy  $\rho$  eloszlásnak általában nincs meghatározott kora, leírható olyan részek szuperpozíciójaként, melyek mindegyike meghatározott korrall rendelkezik. Így már beszélhetünk az eloszlás átlagos  $\langle T \rangle$  koráról, valamint  $\langle T^2 \rangle - \langle T \rangle^2$ -tel jellemezhető korfluktuációról. A kronologikus idő, a dinamika ideje konvencionális idő, itt viszont — egy egyszerű, de szignifikáns példa esetében — a rendszer állapotához kötődő belső idő létrejöttének vagyunk tanúi.

Természetesen nem időztünk volna ennyit a mulatságos, de igencsak sematikus pékpéldáznál, ha nem lennének meggyőződve róla, hogy a benne feltároló belső idő a rendszerek sokkal általánosabb osztályára is érvényes. Ugyanis azt gondoljuk — bár ezt még nem tudtuk bizonyítani —, hogy minden kémiai rendszer (és a

*fortiori* az összes biológiai rendszer) a pékpéldázatéhoz hasonló dinamikai instabilitással rendelkeznek: a kezdeti feltételek parányi módosulásai hatással lehetnek a kémiai átalakulások lehetőségére.

A pék példázatából megérthető a lényeg: determinisztikus elemek (pálya) és visszavezethetetlen statisztikai elemek (tartományok változása a fázis térben) egyszerre vannak jelen. Ez az együtt-létezés teszi lehetővé számunkra, hogy definiáljuk az eloszlásfüggvényekre ható új időoperátort. Mihelyt operátorokról beszélünk, fel kell tennünk a kommutációjukra és a hozzá kapcsolódó bizonytalansági relációkra vonatkozó kérdést is. Láttuk, hogy a kvantummechanikában a  $p$  mozgásmennyiség és a  $q$  koordináta egy ilyen bizonytalansági relációnak, a nevezetes Heisenberg-relációnak engedelmessé válik. Ez a reláció nem terjed ki az időre, amely — szokásosan — mind a kvantummechanikában, mind a klasszikus mechanikában szám. Vajon az új operátor segítségével megtehetünk-e egy új lépést, és bevezethetünk-e egy bizonytalansági relációt, mely ezúttal összekötné a változást az idővel? Egy minőségi jellegű érv megértetheti velünk, hogy valóban erről van szó. Elegendő kapcsolatba hozni a  $\partial/\partial t$  változást kifejező Liouville-féle  $L$  operátorból és a  $T$  időoperátorból álló párt a  $q$ ,  $\partial/\partial q$  és  $p$ ,  $\partial/\partial p$  párokkal, melyekről láttuk (VIII. fejezet, 4. szakasz), hogy nem kommutálnak. Igazolható, hogy  $LT - TL = i$ . Ez nem más, mint a keresett bizonytalansági reláció.

Most két időfogalom áll előttünk: a pályaidő, az, amely óráinkon látható, amely kívül esik az organizmuson és minden egyéb természeti jelenségen, s amellyel mérünk és kommunikálunk; másfelől a belső idő, az, amely a pék példázatában a partíciók osztozottságából olvasható ki, s amely az élő organizmusok esetében nyilvánvalóan rokonítható azzal, amit a „biológiai kor” fogalmával igyekszünk megragadni. Természetesen ez a kétfajta idő nem lehet ellentmondásmentesen független, és nem is azok. Például a péktranszformáció másodpercenként ismétlődő. Egy  $k$  kornak megfelelő partíció  $k + 1$  korpartícióvá alakul át.  $\rho$  különbségeloszlás akár sajátfüggvénye  $T$ -nek, akár nem (vagyis hogy jól meghatározott kora van-e vagy sem), a kor vagy a  $\langle T \rangle$  átlagkor mindenképpen egy egységgel nő minden másodpercben. Ugyanez a helyzet folytonos esetben. A „kronológiai” idő  $dt$  növekedése megegyezik az átlagos belső idő  $d\langle T \rangle$  változásával.

Könyvünk bevezetésében idéztük Newton és Bergson nevezetes sorait az időről. Itt most azt mondhatnánk, hogy bizonyos értelemben mindkettejüknek igaza volt. Az óra idején kívül — ahogy Bergson állította — léteznek még más idők is, ám ezek az idők „együtt” múlnak, s így definiálják az egyetemes változást.

Az új belső idő meghatározása után még tovább léphetünk, és főleg bevezethetünk egy újabb operátort, amely a mikroszkopikus „entrópiának” fog megfelelni, s amelynek átlagos értékéből meg fog születni a termodinamikai idő. Ezt fogjuk most megtenni, s ezen az úton Boltzmann álmát fogjuk megvalósítani, azaz pontos dinamikai időt társítunk a termodinamika második főtételéhez.

#### 4. Kiterjesztett komplementaritás

Az előző szakaszban megfogalmaztunk egy bizonytalansági relációt az időbeli változás és a sokaság korának definíciója között. Ehhez egyrészt az  $L$  Liouville-operátorra, másrészt a  $T$  operátornak megfelelő új belső időre volt szükségünk. Mint már utaltunk rá, ez az időoperátor nem mindig létezik. Lényeges szerepet játszik a pályák szoros keveredésének megfelelő gyenge stabilitási feltétel. Abban az esetben, amikor ez a feltétel teljesül, a pályák dinamikája helyébe a dinamika kereteinek fogalmi kiterjesztése, az eloszlásfüggvények dinamikája és a rájuk ható operátorok lépnek. A XIX. század dinamikai modelljét alkotó egyszerű rendszerek — inga, oszcillátor, bolygómozgás — leírása nem módosul. Továbbra is a pálya fogalmához kötődik, mindazzal együtt, amit ez maga után von: determinizmus, törvényszerűség, megfordíthatóság. Ebben az esetben valóban akadály nélkül térhetünk át a fázistérben vett eloszlásról az egyetlen pályára, a pálya idején kívül nem létezik más idő. Az általános eset mégis azoknak a rendszerek az esete, amelyekben az egyetlen pálya elveszti értelmét: az egyetlen lehetséges leírás az eloszlásfüggvényekkel operáló statisztikai leírás.

Így tehát nem adunk igazat Voltaire-nek, aki — egyébként nagyon szellemesen — *Filozófiai ábécé*-jének *Végzet* cikkében ezt írta: „...minden megingathatatlan törvények parancsára, meghatározott rend szerint történik, ... minden szükségszerű okozat... Vannak, akik megriadva ettől az igazságtól, csak félig-meddig fogadják el, akár-

csak az adós, aki tartozásának felét fölajánlja hitelezőjének, a másik felére meg haladékot kér. Ezek az emberek azt mondják: Vannak események, amelyek szükségszerűek, és vannak, amelyek nem azok. Csakhogy furcsa volna, ha a világ egyik része el volna rendezve, a másik meg nem, ha a megtörténő események egy részének feltétlenül meg kellene történnie, más részének meg nem feltétlenül... Szükségszerű, hogy szenvedélyemnek engedelmessé vájak, téged pedig arra ösztönöz szenvedélyed, hogy elítélj érette: egyformán ostobák vagyunk mind a ketten, s egyformán a végzet játékszerei. A te természeted az, hogy rosszat tégy, az enyém, hogy szeressem az igazságot, és ellened is hirdessem.”<sup>183</sup>

A tapasztalatot megelőző okoskodás, bármilyen meggyőző is, tényleg útra vezethet. Voltaire newtoniánus módon úgy vélte, hogy a természet mindig azonos önmagával. Ma azonban, a fizika nézőpontjából tekintve, az említett „furcsa” világban élünk; csodálkozva fedezzük fel a természet által elének tárt helyzetek minőségi sokféleségét.

Térjünk most vissza eredeti problémánkhoz, a boltzmanni problémához, azaz az entrópia meghatározásához, ezúttal mikroszkopikus szinten. Megtárgyaltuk az e probléma kapcsán felvetődő nehézségeket: a mikroszkopikus entrópia nem lehet a koordináták és a pillanatok egyszerű függvénye, sem  $\rho$  tartozéka a fázistérben.

Az időoperátor tárgyalása az előző szakaszban egészen új távlatot nyitott: a makroszkopikus entrópiához egy mikroszkopikus *operátort* kapcsolunk. Mi ennek az állításnak az értelme? Mindenekelőtt árnyalatosabb lesz a  $\rho$  és a mikroszkopikus entrópia közti kapcsolat. Ahogyan ahhoz, hogy a kvantummechanikában egy megfigyelhető mennyiség értékének valószínűségét keressük, a hullámfüggvényt e megfigyelhető mennyiség sajátfüggvényeinek szuperpozíciójával kell kialakítanunk (VIII. fejezet, 5. szakasz), amikor az entrópiát egy  $\rho$  eloszláshoz akarjuk kapcsolni, ezt az eloszlást ugyanúgy az entrópia „sajátfüggvényeivé” kell felbontanunk. A  $\rho$  eloszlás általában *nem* felel meg az entrópia (egyetlen sajátfüggvényre redukált szuperpozíció) jól meghatározott értékének, hanem csak — mint  $T$  esetében is — átlagértékének.

Mit is kívánhatunk ettől az entrópiaoperátortól, amelyet  $M$ -nek fogunk nevezni? Lényeges követelmény, hogy ne kommutáljon a Liouville-operátorral, mert ebben az esetben a mozgás invariánsa lenne. Ez pedig ki van zárva, hiszen  $M$  lehetővé teszi, hogy egy



folyamat megfordíthatatlan jellegét, az eloszlásfüggvény változását az egyensúly felé a kiindulási térfogat széttöredezetttségének *növekedésével* jellemezzük, mindaddig, amíg a mikrokanonikus felület minden egyes pontja ugyanazzal a valószínűséggel képezi le a rendszert (ekkor az eloszlásfüggvénynek minden pontban ugyanaz az értéke). Ugyanaz a függvény tehát nem lehet egyszerre sajátfüggvénye  $L$ -nek és  $M$ -nek. Ráadásul az  $L$  és  $M$  közti kommutatív viszonynak lehetővé kell tennie egy olyan mikroszkopikus entrópiatermelés meghatározását is, melynek jól meghatározott előjelűnek kell lennie. Így eljutunk egy új bizonytalansági relációhoz, egy  $ML - LM \neq 0$  kiterjesztett komplementaritáshoz. Mint az előzőekben, a komplementaritás most is fluktuációkat jelent, s ilyen operátort ismét csak olyan rendszerekben tudunk létrehozni, amelyek irreducibilis véletlenszerű elemeket tartalmaznak; erre volt példa a pék-transzformáció.

Szoros kapcsolat van — az előbbieken tárgyalt —  $T$  és  $M$  konstrukciója között. Ha  $T$  létezik,  $M$  is létezik: ahhoz, hogy mikroszkopikus entrópiát kapjunk, elegendő egy olyan pozitív  $M(T)$  függvény, amely monoton módon csökken annak mértékében, ahogyan a  $T$ -vel mért széttöredezetttség növekszik, vagyis minden olyan rendszer, amelyben ez a második  $T$  idő lehetséges, a termodinamika második alapelvének engedelmeskedik. Ám ennek a fordítottja már nem igaz,  $M$  létezhet anélkül is, hogy  $T$  meghatározható lenne, de erre a kérdésre itt nem térhetünk ki.

A megfordíthatatlanság problémájára adott megoldásunk egyik lényeges pontja, hogy a klasszikus dinamika által adott *tényleges* válaszok — különösen az integrálható rendszerek leírása — nem sérülnek. Különös esetként megtalálják a helyüket egy szélesebb keretben. Így sikerült összeegyeztethetővé tenni kétféle adatsort: a dinamika érvényességét nagyon pontos kísérletek halmaza biztosítja, másrészt viszont az is igaz, hogy a megfordíthatatlanság nem sikkad el, hanem lényeges, konstruktív szerepet játszik a természetben.

## 5. Új szintézis

A bevezetett eszközök most már lehetővé teszik, hogy összegezzük a különböző nézőpontokat. Láttuk, hogy az entrópia megfelel

egy vonzó állapotnak. A maximális entrópia állapota „vonz” minden más állapotú, kisebb entrópiájú elszigetelt rendszert. A megfordíthatatlan jelenségek termodinamikája makroszkopikus mennyiségekben fejezte ki ennek a vonzásnak a természetét — ez a tartalma az „entrópiatermelés” kifejezésnek, mely a fluxusok (például hőáramlások) és erők (például hőgradiensek) függvényeként jelenik meg. A kérdés az volt, hogy továbbléphetünk-e, értelmezhetjük-e mikroszkopikus mennyiségekkel a vonzó állapotot.

Boltzmann nagyszerű próbálkozása félsikerrel zárult, és úgy látszott, hogy az általánosítására tett kísérletek, melyek a Gibbs-féle sokaságokat hívták segítségül, zsákutcába vezetnek. Ma már látjuk, hogy a nehézségek főleg a dinamika igencsak hiányos megértéséből származtak. Ha tisztázzuk a gyenge stabilitás és a dinamikai változás bonyolultságának fogalmát a fázistér szintjén, az akadályok elhárulnak.

Azt mondtuk, hogy a klasszikus tudomány nagy témái a körül a meggyőződés körül csoportosulnak, hogy a mikroszkopikus egyúttal egyszerű is. Ez a meggyőződés kétszeresen is megcáfoltatott. Először annak felfedezésével, hogy a dinamikai egyszerűség valójában a makroszkopikus világhoz tartozik, és a kvantumjelenségekhez csak műszereink közvetítésével kapcsolható. Másodszor annak felfedezésével, hogy a klasszikus mechanikában ritkák azok az esetek, amelyekben a dinamikai változás elég egyszerű ahhoz, hogy megjelenhessen a pálya fogalma. A mikroszkopikus entrópiaperturbátor ott alkotható meg, ahol — az utóbbi értelemben — a mikroszkopikus már nem egyenlő az egyszerűvel.

Ugyanúgy, ahogyan az időoperátorról áttértünk egy átlagos időre, az  $M$  operátorról is áttérhetünk  $\mathcal{M}$ -ra, amelyet  $\mathcal{M} = \int \rho M \rho \, dq \, dp$  integrálként határozunk meg. Ennek a mennyiségnek ugyanazok a tulajdonságai, mint Boltzmann  $\mathcal{H}$  függvényének, addig csökken, amíg a rendszer egyensúlyi állapotba nem kerül. Jegyezzük meg, hogy ez a definíció nem az egyetlen. Erre majd még visszatérünk.

A Boltzmann által bevezetett  $\mathcal{H}$  függvénynek volt egy tulajdonsága, amely, úgy látszik, elveszett a most konstruált mennyiségben;  $\mathcal{M} = \int dv \, f \, \ln f$  nem a dinamikától függött, hanem csupán a sebességek eloszlási függvénye által leírt rendszer pillanatnyi állapotától.  $M$  viszont a rendszerben lejátszódó folyamatok dinamikájától függ. Valóban, a  $\mathcal{M}$  attraktort ugyanolyan egyetemes formában is megadhatjuk, mint a boltzmanni  $\mathcal{H}$ -t. Ám ezt csak akkor tehetjük

meg, ha felhagyunk a hamiltoni dinamika kanonikus ábrázolásával, és egy olyan transzformáció segítségével, mely már nem kanonikus transzformáció — tehát nem tartja meg a mozgásegyenletek hamiltoni formáját — újradefiniálunk egy  $\bar{\rho}$  eloszlásfüggvényt.

Most már világossá vált, milyen álláspontot képviselt Boltzmann: olyan leírást gondolt el, mely idegen a klasszikus ábrázolástól, s ez az oka annak, hogy az  $\bar{\rho}$  eloszlásfüggvényének változási egyenletében meglévő szimmetria idegen a dinamikai egyenletek szimmetriájától. Olyan reprezentációt feltételezett, melyet ma már megkaphatunk a hamiltoni dinamikától idegen transzformációval („nem-uniter” transzformációval) is, mely transzformáció a  $\rho$  függvényt új,  $\bar{\rho}$  függvénné alakítja. Ezt a transzformációt egy  $\Lambda$  operátor hozza létre,  $\bar{\rho} = \Lambda\rho$ , mely  $M$ -mel az  $M = \Lambda^2$  kapcsolatban áll.  $\bar{\rho}$  változási egyenlete rendelkezik a Boltzmann posztulálta szimmetriával, és  $\bar{\rho}$ -nak köszönhetően megkapjuk az egyetemes formára hozott attraktort:

$$\mathcal{H} = \int (\bar{\rho}) dp dq. \quad 184$$

Mint ahogy már jeleztük, az attraktor kifejezése  $\bar{\rho}$ -vel nem az egyetlen. Ugyanúgy választhatnánk a Boltzmannéval rokon kifejezést is:  $\mathcal{H} = \int dq dp \bar{\rho} \ln \bar{\rho}$ . Ekkor a Boltzmann-féle megoldás és a dinamika közti repedés eltűnik, mégpedig nem egy közvetítő jellegű művelet révén, hanem a dinamika megfelelő kiterjesztésével.

Ezzel új szintézishez értünk el. A fizikusok egymást követő nemzedékei által kidolgozott ideiglenes leírások mögött egy nem sejtett egység képe rajzolódik ki. A valószínűségen alapuló és makroszkopikus dinamikai leírások eltérőnek, sőt ellentmondásosnak mutatkoznak. Most már nagyobb pontossággal kapcsolhatjuk össze őket. Az  $\Lambda$  által közvetített nem-uniter transzformációk elméletének egyik legsokatmondóbb eredménye éppen az, hogy a változók belőle következő megváltozása olyan egyszerű esetekben, mint a pék-transzformáció — a Liouville-egyenlet, vagyis a *par excellence* determinisztikus egyenlet átalakítása —, egy valóban valószínűségen alapuló leíráshoz (Markov-lánc) vezet, melyben benne foglaltatik a megfordíthatatlanság fogalma. Innen már sima út vezet az általunk a IV. és V. fejezetben használt fenomenológiai termodinamika makroszkopikus leírásaihoz; elegendő a valószínűségi egyenletek átlagait venni. Ezek az átlagok a Fourier-féle egyenlettípusnak vagy kémiai kinetikai egyenleteknek engedelmessékednek.

A kép, melyet festettünk — bármilyen csábító is — egyelőre csupán vázlat. Évek kellene még ahhoz, hogy felbecsüljük tartalmát. Általánossági foka egyelőre ismeretlen előttünk. Ám az, hogy a dinamikai rendszereknek vannak olyan osztályaik, amelyekre alkalmazható, már önmagában is fontos eredmény.

Hol van a helye ebben a perspektívában a kvantummechanikának? Itt alkalmunk van némileg pontosítani az előző fejezetben bemutatott gondolatot, mely szerint  $h$  a dinamikai leírásban a független változók számának csökkenéséhez vezet.

Idézzük fel, hogy a sokaságok klasszikus elméletében négy alapvető mennyiséggel van dolgunk,  $q$ -val,  $p$ -vel,  $\partial/\partial q$ -val és  $\partial/\partial p$ -vel (egy egy szabadságfokú rendszerben), valamint két nemkommutatív viszonyal ( $q, \partial/\partial q$  és  $p, \partial/\partial p$  párok esetében). A pályák klasszikus elmélete szerint csak  $q$  és  $p$  függvény marad meg; nincs helye semmilyen bizonytalansági relációnak. A kvantummechanika tehát a maga *egyetlen* bizonytalansági relációjával köztes helyet foglal el a koordinátákhoz és mozgásmennyiségekhez kapcsolódó  $q_{op}$  és  $p_{op}$  operátorok között. Végeredményben a kvantummechanika „*determinisztikusabb*” a sokaságok klasszikus elméleténél, de „*kevésbé*” determinisztikus, mint a pályák klasszikus elmélete.

A  $h$  Planck-állandóhoz hozzákapcsolhatjuk a kvantummechanikának ezt a sajátos helyzetét.<sup>185</sup> Pontosabban, a klasszikus és a kvantumfizikai operátorok összehasonlító elemzése lehetővé teszi, hogy a kvantumfizikai operátorokat a négy alapvető klasszikus operátor,  $q, p, \partial/\partial q$  és  $\partial/\partial p$  kombinációival fejezhetjük ki. Valóban, ha  $h$  a hatás ( $q \cdot p$ ) dimenziójával rendelkezik, akkor  $h \partial/\partial p$  egy  $q$  koordináta,  $h \partial/\partial p$  pedig egy  $p$  impulzus dimenzióit veszi fel. A  $h$  mennyiség ebben az esetben lehetővé teszi a négy klasszikus mennyiség két olyan mennyiségre való csökkentését, melyek a mozgáskoordináta- és mozgásmennyiség-fogalom helyébe lépnek, vagyis  $q_{op} = q - h/4\pi i \partial/\partial p$  és  $p_{op} = p + h/4\pi i \partial/\partial q$ . Ha elfogadtuk alapszabályként, hogy  $q$  és  $p$  operátorok helyébe ezeket az új operátorokat állítjuk, teljesen természetes módon újra előkerül a kvantummechanika szabálygyűjtése.

Emeljük ki az így bevezetett dinamikai fogalmak gyökeres újdonságát. Az új koordináta- és mozgásmennyiség-fogalom már nem mérhető egyidejűleg a Heisenberg-féle bizonytalansági reláció folyamánaképpen. Előkészíthetünk ugyan számos halmazt, de egyikük

sem fog megfelelni a klasszikus mechanika „tiszta esetének”. A  $\partial/\partial q$  és  $\partial/\partial p$  deriváltak megjelenése a kvantumkoordináta és -impulzus definíciójában — ami maga után vonja nem-kommutatív jellegüket — egy, a fázistérben  $h$  által közvetített *korreláció* létére utal. A helyzet némiképpen hasonlít arra, amit egy rezgő kötélen esetében figyelhetünk meg. Ott sem írhatjuk elő a szomszédos pontok mozgását egymástól függetlenül, hacsak nem szakítjuk el a kötelet.

Így, mint ahogy már számos alkalommal jeleztük, a gyenge stabilitású rendszerek kvantummechanikája és klasszikus dinamikája ellentétes okokból válik el a pályák dinamikájától. A klasszikus esetben a pályák túlságosan „rendezetlenek”, túlságosan „függetlenek” voltak; a kvantumfizikai esetben viszont éppen fordítva, a szomszédos pályák összefüggenek, nem választhatók el egymástól. A fázistérben lévő pont fogalmának azonban egyik esetben sincs értelme. Jegyezzük meg végül, hogy a kvantumfizikai „koherencia” nem akadály a megfordíthatatlan folyamatok előtt. Legfeljebb azt vonja maga után, hogy a megfelelő klasszikus feltételeknél szigorúbb feltételek szükségesek ahhoz, hogy — egy instabilitás következtében — a hullámfüggvényekkel való leírás inadekváttá váljon.

A klasszikus fizikát egy eszménykép, a maximális, teljes tudás eszménye vezette, mely a változást a nem-változó tautologikus ismétlődésére korlátozta. Ez volt — mint láttuk — e tudomány alapító mítosza. Mára a pályák fizikája elvesztette az instabilitás és a kvantumfizikai koherencia hullámaitól ostromolt sziget képét. Az idő problémája, melyet könyvünkben nyomon követtünk, immáron gyökeresen új megvilágításban jelenik meg. Ezt a „megtalált időt” fogjuk leírni a befejezésben.



# Befejezés

## A világ újravarázsolása

### 1. A mindentudás vége

Igen, a tudomány a természet befolyásolásának a művészete. Am egyidejűleg a megértésére tett erőfeszítés is, mégpedig abból a célból, hogy választ kapjunk néhány kérdésre, melyet az emberiség nemzedékeinek sora soha nem szűnt meg feltenni. E kérdések egyike könyvünkben állandóan vissza-visszatért, középponti témája a tudomány- és filozófiatörténetnek is. Ez a kérdés a létezés és az átalakulás, az állandóság és változás kapcsolatának kérdése.

Említettük azokat a preszokratikus okoskodásokat, amelyeket néhány döntő fogalmi választás tesz teljessé: az a változás, amelyből a dolgok erednek, és amelyben elpusztulnak, vajon kívülről kényszerítődik-e rá a közömbösnek megmaradó anyagra? Vagy pedig az anyag lényegi, belső és önérvényű tevékenységének terméke? Valamilyen mozgatóra kell gondolnunk, vagy a változás a dolgok belső és lényegi tulajdonsága? A XVII. században a mozgás tudománya egy modell *ellenében* jött létre, mely nem más mint a természeti lények önkéntelen és öntörvényű szerveződésének biológiai modellje. Ettől fogva e két alapvető lehetőség között ingadozik. Mert ha minden változás mozgás, akkor honnan ered a mozgás? Az atomistákkal egyetértve az űrben lebegő atomokban, véletlenszerű ütközéseikben, bizonytalan társulásaikban higgyünk-e? Vagy eredeztessük a mozgást egy, a mozgást hordozó tömegeken kívüli „erőből”? Valójában ebben a választásban az a kérdés nyilvánult meg, hogy tulajdonítható-e a természetnek törvényszerű működés. Vajon a természet lényegéből fakadóan véletlenszerű, a rendszeres, megjósolható és megismételhető viselkedések pedig csu-

pán a szerencsés véletlen tűnékeny termékei lennének? Vagy netán előbbrevaló a törvény? Van-e jogunk olyan „erőkről” beszélni, amelyek a tehetetlen anyagra egy törvényszerű, matematikai leírásra alkalmas viselkedést, a fizika elveit kényszerítik rá?

A XVIII. században a múltékony és külső beavatkozástól független örvénylések véletlenje fölött diadalmaskodott a nem változó matematikai törvény. A törvény irányította világ már nem az az atomista világ, amelyben a dolgok a céltalan burjánzás véletlenjei szerint születnek, élnek és pusztulnak el. Rendezett világ ez, olyan világ, melyben nem keletkezhet semmi olyan, ami ne lenne örök idők óta levezethető a tömegei alkotta rendszer pillanatnyi definíciójából.

Valójában a világ dinamikai felfogása önmagában véve nem igazi újdonság. Nagyon pontosan meg tudjuk jelölni születési helyét: ez az arisztotelészi égi világ, a csillagászati pályák változatlan, isteni világa. Arisztotelész szerint egyedül a csillagászati pályák írhatók le matematikailag pontosan. Mi is hangot adtunk annak a panasznak, mely szerint a tudomány, különösen a fizika, feloldja a varázslat alól a világot. Ám éppen azért varázstalanítja a világot, mert isteníti, mert tagadja a természet sokféleségét és a változást, melyet Arisztotelész — egy változatlan örökkévalóság nevében, melyet egyedül lehet a maga igazságában elgondolni — a Hold alatti világ tulajdonságának tett meg. A dinamika világa „isten” világ, melyet nem érint az idő, ahonnan a dolgok születése és halála örökre kitiltatott.

Ám láthatólag nem ez volt azoknak a programja, akiket az újkori tudomány megalapítóinak nevezünk; ha el akarták is tüntetni az arisztotelészi tilalomfát, mely szerint a matematika megtorpan ott, ahol a természet kezdődik, úgy látszik, nem arra gondoltak, hogy eközben a változó mögött rábukkannak a változatlanra, hanem arra, hogy a változó és romlandó természetet a Világegyetem határaiig tágítják. Galilei azon ámuldozik *Párbeszéd a nagy rendszerekről* c. művének első lapján, hogy egyesek képesek azt gondolni: a Föld nemesebb és még csodálatosabb lenne, ha a vízőzön csak jégtengert hagyott volna maga után, vagy ha olyan kemény lenne, mint a jáspiskő. Bárcsak azok, akik úgy gondolják, hogy a Föld szebb lenne kristálygömbként, találkoznának egy Medúza-fővel, mely gyémántszoborrá változtatná őket, hogy „szebbek” legyenek mostani önmaguknál.



Ám a tudomány tárgyairól, amelyeket az első fizikusok választottak, akik vállalkoztak a természeti jelenségek matematizálására — az öröklétig ugyanúgy lengő eszményi inga, az üres térben repülő ágyúgolyó, az örökmozgó egyszerű gépek és a bolygópályák is, melyek ezentúl mind természeti lényként jelennek meg —, mindezekről a tárgyról, amelyekkel kapcsolatban az első kísérletes párbeszédet lefolytatták, kiderült, hogy *egységes* matematikai leírás alkalmazható rájuk, mégpedig olyan leírás, mely éppenhogy Arisztotelész csillagainak eszményi, isteni jellegét adta vissza.

A dinamika egyszerű gépezeteit, akárcsak az arisztotelészi isteneket, maradéktalanul kitöltik saját maguk. Nincs semmi tanulnivalójuk, sőt mindent elveszíthetnek, ha bármilyen kapcsolatba kerülnek a külső világgal. Azt az eszményt követik, amelyet a *dinamikai rendszer* valósít meg.

Leírtuk ezt a rendszert, megmutattuk, hogy milyen értelemben alkot szigorú világrendszert azzal, hogy nem hagy semmi helyet a rajta netán kívül eső valóságnak. Minden pontja minden pillanatban tudja mindazt, ami valaha is tudható, vagyis a tömegek és sebességeik térbeli elhelyezkedését. A rendszer önmaga számára mindig és mindenütt jelen van: minden egyes állapot tartalmazza az összes többi igazságát, és mindegyikükből megjósolható bármelyik másik, függetlenül az idő egyirányú tengelyén elfoglalt helyzetüktől. Azt is mondhatnánk, hogy ebben az értelemben a dinamikai folyamat tautológia. A rendszer süket és vak a külvilágra, önmagában működik, és számára minden egyes állapota ugyanannyit ér.

A pályák dinamikájának egyetemes törvényei konzervatívak, megfordíthatók és determinisztikusak. A dinamikai objektum teljes megismerhetősége következik belőlük: a rendszer bármelyik állapotának definíciója és a változást szabályozó törvény ismerete lehetővé teszi, hogy — a logikus észjárás bizonyosságával és pontosságával — mind teljes múltját, mind teljes jövőjét levezessük belőle.

Ettől fogva a dinamikai rendszer mintájára felfogott természet nem lehetett más, mint a természetet leíró embertől idegen természet. Csak arra nyílt lehetőség, hogy közelítsünk a legkedvezőbb leíráshoz, ahhoz a helyhez, ahonnan Laplace rettenthetetlen démona — miután egy adott pillanatban feljegyezte minden egyes részecske helyzetének és sebességének értékét — az örökkévalóság óta számolhatja a világ múltját és jövőjét.

Az újkori tudomány számos bírálója azt a tétlen és alávetett jel-  
leget hangsúlyozta, amellyel a matematikai fizika ruházta fel az  
általa leírt természetet. Valóban, a minden részletében megjósolható  
természet-automatát is teljes egészében befolyásolhatja az, aki elő-  
tudja készíteni állapotait. Mégis, könyvünk végső következtetéseként  
azt gondoljuk, hogy a diagnózis nem ilyen magától értetődő. Igaz,  
hogy az „ismeretet” az utóbbi három évszázad során gyakran azono-  
sították a „befolyásolás képességével”, de a történet azért nem csak  
ebből áll, és a tudományokat nem lehet erőszak nélkül azonosítani a  
nyers uralomra való törekvéssel. Párbeszédet is folytatnak, még ha  
— természetesen — nem is alanyok között, hanem kutatásaikkal,  
melyeknek egyedüli téje nem a hallgatás és a másik fél alávetése.

Először is különbséget kell tenni a dinamika és más olyan tudomá-  
nyok között, melyekben szintén szerepet játszik a befolyásolás  
gondolata. A skinneri pszichológia például megtanít az élőlények  
manipulálására. Az embereket fekete doboznak tekinti, úgyhogy csak  
a „bemenetek” számítanak, az, amit ellenőriz, és a „kimenetek”, a  
kísérlet alanyának reakciói. S hasonlóképpen, a gőzgépek tudomá-  
nyának sem az volt a törekvése, hogy „behatoljon” a kohóba,  
hanem csupáncsak az, hogy megértse a *kívülről* mérhető mennyiségek  
változásai közti összefüggéseket. A dinamika viszont *befolyásolási*  
*lehetőségeket egyformán és elválaszthatatlanul meghatározó ekviva-*  
*lenciák* együttesével meríti ki a tárgyat. A legjobb példa erre a sebes-  
ségek megfordítása. Az ok — a változást elindító eltűnő valami — és  
az okozat — a változást alkotó ekvivalens nyereség — meghatározása  
céljából egy eszményi befolyásolásra szokás hivatkozni, amelyben a  
sebesség egy pillanat leforgása alatt megfordul. A test a teljes elért  
*sebesség* elvesztésével visszanyerné kiindulási *magasságát*. Az alap-  
vető  $mv^2/2 = mgh$  ekvivalencia egyszerre határoz meg objektívan  
egy dinamikai *objektumot* és egy ideálisan lehetséges *manipulációt*.

A dinamika tehát sajátos módon összhangot teremt a befolyásolás  
érdekei és az egyedül a természet megértésére irányuló ismeretszerzés  
érdekei között. Így már érthető, miért tetszhetett úgy, hogy a tudomá-  
nyt csak a befolyásolás törekvése fűti, amiként az is, miért bizo-  
nyult változékonnak, amikor a figyelem és a kíváncsiság új tárgyak-  
ra irányult.

Ebből a szempontból nyilvánvaló, hogy az átalakulást, mely  
először is kérdéseinket és érdekeinket érintette, legjobban a már Kant

által is csodált két dolog jelképezheti: a csillagok örök mozgása az égen, és az erkölcsi törvény a szívben; két törvényszerű, változatlan és különmemű rend. Mára felfedeztük, hogy a Világegyetem erőszakos, tudjuk, hogy a csillagok felrobbannak, hogy a galaxisok születnek és elpusztulnak. Tudjuk, hogy még a bolygómozgás stabilitására sincs biztosíték. S ezeknek a pályáknak a változó voltában, ezekben az elágazásokban találjuk meg agyműködésünk fluktuációit, s ezek ösztönöznek ma bennünket.<sup>186</sup>

Megkíséreltük megérteni azokat a bonyolult folyamatokat, amelyek jóvoltából érdekeink és az általunk döntőnek tartott kérdések átalakulása összhangba kerülhetett a tudományos kutatási irányokkal, és — ahogy láttuk — kaput vághatott bizonyosságainak zárt és összefüggő rendjében. S az, hogy ez a nyitás az általunk leírt, sokféle ágazó és gyakorta kanyargós ösvényeken történt, azért volt így, mert módosítani kellett a fogalmakat, a kérdéseket új környezetben kellett elhelyezni, olyan kérdéseket kellett feltenni, melyek átrajzolták a tudományágak hagyományos határait, egyszóval a tudománnyal el kellett fogadtatni az új kutatások halaszthatatlan voltát.

Erre talán a termodinamika a legjobb példa.

Kiindulópontjául a hővezetés törvényének Fourier-féle megfogalmazását tettük meg. Ez volt az első lényegileg megfordíthatatlan folyamat, amely matematikai formában nyert kifejezést, s mint ilyen okozott botrányt: a dinamika törvényeire alapozott matematikai fizika egysége mindörökre megbomlott.

A Fourier-törvény egy spontán folyamatot ír le — a hő terjedését —, és nem ad eszközt annak megszüntetésére vagy megfordítására, azaz ellenőrzésére. A hő ellenőrzéséhez pedig *ki kell küszöbölni* mindenféle hővezetést, el kell kerülni a különböző hőmérsékletű testek bármiféle érintkezését. A Fourier-törvény pontosan azt a parzslást írja le, amely akkor történik, amikor a hőt motor működtetésére akarjuk használni. Így a Carnot-körfolyamat, amelyből kiindulva meg fogják fogalmazni a termodinamika törvényeit, a megfordíthatatlan hővezetést kiküszöbölő *fortélyok* együtteséből áll. A termodinamika tehát a megfordíthatatlansággal *kapcsolatban és ellenében* jött létre, úgy, hogy nem megismerni, hanem elhárítani igyekezett e folyamatot. S Clausius entrópiája is előbb a hő- és mechanikai energia tökéletesen ellenőrzött, teljes mértékben megfordítható egymásba való átalakulásait fogja leírni.

Márpedig — jól tudjuk — a történetnek ezzel nem szakadt vége, és az a gondolat, hogy a nem-ellenőrzött átalakulások — a veszteségforrások — az entrópia örök, megfordíthatatlan növekedésével járnak együtt, a növekedés állításává változott: a természeti folyamatok növelik az entrópiát. Itt tetten érhető egy azok közül a csúsztatások közül, amelyekről beszéltünk: egy mérnöki jellegű kérdéskörben teljesen eluralkodik a természeti folyamatok iránti érdeklődés.

Első alkalommal történik, hogy nem a befolyásolható tárgy válik a vizsgálat tárgyává, hanem az, ami meghatározása szerint nem vagy csak fortélyok és veszteség árán befolyásolható. A fizika pedig elismeri, hogy a dinamika — amely a természetet alávetettnek és létezésében ellenőrizhetőnek tartja — csak egy különös esetet tár fel. A termodinamikában az ellenőrizhetőség nem természeti adottság, hanem mesterkedés eredménye. A természetnek az a törekvése, hogy kikerüljön az ellenőrzés alól, belső működésének kézzelfogható jele: a természet számára nem egyenrangú az összes állapot.

A XIX. század nyilvánvalóan nem tehetta meg, hogy nem vesz tudomást a megfordíthatatlanságról, hiszen egyszerre aggasztotta az erőforrások kimerülése és lelkesítették a forradalom és a fejlődés távlatai. A XX. század pedig a megfordíthatatlan folyamatokban a természet megértésének, azoknak a jelenségeknek a kulcsát kereste, amelyeknek pontos helyét meg kellett találnia a fizikában, hacsak nem mond le a fizikai leírás helytálló voltának gondolatáról a természet megértésében. Ha a kimerülés, a teremtő erejű különbségek kiegyenlítődésének kísértete volt a meghatározó a második alapelv értelmezésében, a folytatásban már a biológiai modell volt a döntő ihletforrás: a világtól mesterségesen elszigetelt rendszerekre korlátozott termodinamika feladása, átalakulása egy olyan világ tudományává, amelyet változásra és újjításra képes létezők népesítenek be, olyan létezők, amelyeknek viselkedését — hacsak nem kezeljük rab-szolgaként őket — nem jósolhatjuk meg, és nem is ellenőrizhetjük.

A irreverzibilis folyamatok termodinamikája felfedezte, hogy azok a fluxusok, amelyek egyes fizikai-kémiai rendszereket átjárnak, és eltávolítják őket az egyensúlytól, spontán önszerveződő jelenségekhez, szimmetriatörésekhez, a növekvő bonyolultság és sokféleség irányába tartó változásokhoz vezethetnek. Ott, ahol a termodinamika általános törvényei már nem érvényesek, megnyilvánulhat a megfordíthatatlanság alkotó szerepe. Ez az a terület, ahol a dolgok meg-

születnek és elpusztulnak, vagy olyan egyedi történéssorrá alakulnak, mely a fluktuációk véletlenjének és a törvények szükségszerűségének szövevényéből áll össze.

Mára közelebb jutottunk ahhoz a természethez, amellyel kapcsolatban — a hozzánk eljutó ritka visszhangokból ítélve — a preszokratikusok megfogalmazták kérdéseiket, s ahhoz a Hold alatti természethez is, amelynek Arisztotelész leírta növekedési és romlási képességét, s amelyről azt állította, hogy megérthetősége és bizonytalansága nem választható el egymástól. A természet útjait nem lehet teljes bizonyossággal előre látni, s a véletlen szerepe nem hogy nem csökkenthető benne, hanem sokkal döntőbb annál, mint ahogyan Arisztotelész feltételezte: az elágazásos természet olyan természet, melyben kis különbségek, jelentéktelen fluktuációk — ha megfelelő körülmények között jönnek létre — eláraszthatják az egész rendszert, és új működési rendet alakíthatnak ki.

A természetnek ezt a belső változékonyságát egy másik szinten, a mikroszkopikus szinten is megtaláltuk. Itt azt kutattuk, hogy mi a státusa a megfordíthatatlanságnak, a véletlenszerű elemnek, a statisztikai fluktuációnak, mindazon fogalmaknak, amelyeket a makroszkopikus tudomány új egységben foglalt össze. Ugyanis a dinamika elfogadott törvényei vagy bármely hasonló típusú törvényrendszer által leírt egynemű világban ezek a fogalmak csak megközelítő jellegűek lehetnek volna, az általunk bevezetett távlatok pedig csupán illúziók.

Az a gondolat azonban, mely szerint a fizika nem tudja pontosan definiálni a molekuláris mozgást, s ebből következően a statisztikai leírás nem visszavezethető jellegű, nem volt ismeretlen a fizikában. Ahogy a tudománytörténész Brush megjegyzi,<sup>187</sup> különösen a XIX. század tudósai beszélnek gyakran a meghatározatlanságról, a szabálytalanságról, a molekuláris mozgások véletlenszerű voltáról, és már abból a célból, hogy igazolják a statisztikai gondolatmenet igénybevételét. Maxwell például az *Encyclopedia Britannica* (1875) „Atom” szócikkében azt írja, hogy az elemi szintű mozgás szabálytalansága szükséges ahhoz, hogy a rendszer visszafordíthatatlan módon viselkedjen. Másutt viszont azt mondja, hogy a szabálytalanság tudatlanságunkból adódik. Általában jellemző volt az ingadozás a lényegi meghatározatlanság és az „episztemológiai” meghatározatlanság között. Ez a kétértelműség — mint tudjuk — a kvantumfizikai formalizmus értelmzési problémájával ellentété alakult.

Már Maxwell is megsejtette a megoldás kulcsát, amellyel ma közelítjük meg a problémát, amikor a mozgás instabilitásáról, olyan szinguláris pontokról beszélt, melyekben kis okok aránytalanul nagy következményekkel járnak. A dinamika azonban ma már lehetővé teszi olyan rendszerek definiálását, melyekben ezek a szinguláris pontok szó szerint *mindenütt* megtalálhatók, és a fázistér egyetlen — bármilyen kis — tartománya sem nélküli őket.

Most már teljesen általánosan is megfogalmazható a probléma. A mindentudás eszménye a pályák tudományában és Laplace démonában testesül meg, aki a pályákra vetett egyetlen pillantás után örökre szólóan kiszámítja őket. De a pályák, amelyek oly valóságosnak tetszenek, valójában idealizációk: soha nem szemlélhetjük őket, hiszen ehhez egy valóban végtelen pontosságú megfigyelésre volna szükség, arra, hogy pontos kezdeti feltételt társítsunk egy dinamikai rendszerhez, hogy egyedi állapotában írjuk le, s ne vegyük figyelembe semmilyen más, *bármilyen közeli* állapotát. Azokban a helyzetekben, amelyekre általában gondolunk, ennek a megjegyzésnek nincs következménye: kevésbé fontos, hogy a pálya csak megközelítőleg meghatározott. Ha a jól meghatározott kezdeti feltételekhez vezető határátmenet nem kivitelezhető is valóságosan, azért még elképzelhető, és a folytonos pálya továbbra is olyan határként jelenik meg, mely felé megfigyeléseink mind pontosabb sorozata tart. Ám két leküzdhetetlen akadályba is beleütköztünk, mely a határátmenet előtt tornyosul: egyrészt a rendezetlenségbe, a „gyenge stabilitású” rendszerek pályáinak káoszába, másrészt a Planck-állandó által meghatározott kvantummozgások koherenciájába. Mindkét esetben vagy azért, mert igen közeli pályák széttartóvá lesznek, vagy azért, mert éppen ellenkezőleg, túlságosan is együtt maradnak, az egyetlen pontállapot meghatározása elveszti értelmét, a pálya már nem csupán idealizáció, hanem inadekvát idealizáció.

Így a dinamika és a kvantummechanika elérte a „tudományos forradalom” belső határait, vagyis a tudósok felfedezték azoknak a helyzeteknek kivételes jellegét, amelyek az első kísérleti párbeszéd tárgyául szolgáltak. Az első fizikusok — nagy körültekintéssel — olyan tárgyakat választottak, amelyek könnyűszerrel visszavezethetők matematikai modellekre, olyan tárgyakat, amelyek mind azoknak a dinamikai rendszereknek a meglehetősen szűk osztályába tartoznak, amelyek esetében a pálya meghatározásának határozott értelme van.

A mai fizika története egybefonódik az e rendszerekkel kapcsolatban — e rendszerek leírása teljesként és determinisztikusként jelenhet meg — kidolgozott fogalmak korlátozott érvényének felfedezésével, a „Hold alatti” világ felfedezésével a matematikai fizikán belül.

Természetesen a mindentudás eszményének vége egy olyan probléma végét jelenti, melyet csak elméleti szinten vetettek fel. Soha senki nem állította, hogy képes volna egy bonyolult dinamikai rendszer pályáinak előrejelzésére. Laplace démona is egy, a valószínűségekkel foglalkozó értekezés bevezetésében jelenik meg. A Laplace-i démon nem az egyetemes uralmat jelképezte, nem kezeskedett minden esemény előrejelzéséért, hanem azt hirdette, hogy az *elméleti fizika* szempontjából a jövő benne rejlik a jelenben, s a változás és az újítás, a folyamatok világa, amelyben élünk s amely bennünket alkot, ha nem is illúzió, de legalábbis megfigyelésünk módja által meghatározott látszat. Tehát makroszkopikus szinten éppúgy, mint mikroszkopikus szinten, a természettudományok megszabadultak az objektív valóság szűk felfogásától, mely kötelességének hiszi, hogy egy változatlan egyetemes törvény nevében elvileg is tagadja az újdonságot és a sokféleséget. Megszabadultak egy ábrándtól, mely a racionalitást zárt valamiként, az ismeretszerzést pedig csaknem befejeztként állította elénk. Kitértek a megjósolhatatlanság felé, melyet nem tartanak többé a tökéletlen tudás, az elégtelen ellenőrzés jelének. Megnyíltak a párbeszéd előtt, melyet egy olyan természettel folytatnak, mely nem vehető birtokba elméleti belátással, hanem kutatásra vár, egy olyan párbeszéd előtt, melyet a világgal folytatnak, melyhez mi is tartozunk, melynek építésében mi is részt veszünk. Ezt a nyitást írta le Serge Moscovici, ezt a nyitást nevezte el „kepleri forradalomnak”, szembeállítva a kopernikuszi forradalmakkal, melyek kitartanak az egyedüli és tökéletes nézőpont gondolata mellett. Könyvünk elején olyan szövegeket idéztünk, melyek vádolják a tudományt, és működését a világ varázstalanításával azonosítják. Idézzük most Moscovicitől azt a részt, amelyben a ma kialakuló tudományokról ír:

„Az ebben a kalandban, a mi kalandunkban részt vállaló tudományok felfrissítik mindazt, amihez csak hozzájárulnak, és felelevenítik mindazt, amibe belehatolnak, a földet, amelyen élünk, s az igazságokat, amelyek éltetnek bennünket. Amit minden fordulóponton hallunk, az nem a vég jajszava, nem temetői harang, hanem a tűnékeny állandóságba egy pillanatra belemerevedett emberiség és anyag

friss erejű újjászületésének és újrakezdésének a hangja. Ezért aztán a nagy felfedezések nem egy haldokló ágyából származnak — mint Kopernikusé —, hanem — mint Kepleré — az éber álmokból és igencsak élő szenvedélyekből születnek meg.”<sup>188</sup>

Hátra van még, hogy számba vegyük néhány következményét a tudomány átváltozásának, melynek történetét itt felvázoltuk.

## 2. A megtalált idő

Több mint három évszázad múltán a fizika újra rátalált az idő sokféleségének témájára.

Gyakran tulajdonítják Einsteinnek azt a merészséget, hogy az időt megette negyedik dimenzióknak. Holott Lagrange és d'Alembert már az *Enciklopédiában* felvetette, hogy a tartam és a három térbeli dimenzió négydimenziós egységet alkot. Valójában az az állítás, mely szerint az idő nem más, mint az a geometriai paraméter, amely lehetővé teszi — kívülről — a számolást, s ezért kimeríti minden természeti létező sorsának igazságát, három évszázad óta a fizikai hagyomány egyik állandó eleme. Ezért tudta Émile Meyerson az újkori tudományok történetét úgy megírni, mint annak fokozatos megvalósulását, amit ő az emberi ész alkotó előítéletének tartott: egy olyan magyarázat igényét, amely a sokfélét és a változót visszavezeti az azonosra és az állandóra, s amely így *kiküszöböli az időt*.

Ami pedig a mi korunkat illeti, valóban Einstein volt az, aki a legtöbb erőfeszítést tette azért, hogy kiküszöbölje az időt. Méghozzá mindazon bírálatok, tiltakozások és aggodalmak ellenére, amelyeket feltételeket nem ismerő állításaival kiváltott. Jól ismert jelenet, amikor a Párizsi Filozófiai Társaságban 1922. április 6-án<sup>189</sup> Henri Bergson megpróbált Einstein ellenében a valóságos idő egységében együtt létező, megélt idők sokasága mellett érvelni, ringbe szállva az intuitív bizonyosság mellett, mely arra a gondolatra vezet, hogy ez a sokféle tartam ugyanahhoz a világhoz tartozik. Olvassuk csak el Einstein választát: biztos lévén benne, hogy semmilyen megélt tapasztalat nem mentheti meg azt, amit a tudomány tagad, megfellebbezhetetlenül elveti — hiszen nem értenek hozzá — a „filozófusok idejét”.

Talán még tanulságosabb Einstein levélváltása legközelebbi — fiatalkori zürichi — barátjával, Michele Bessóval.<sup>190</sup> Besso is tudo-



mánnal foglalkozott, de élete vége felé egyre jobban érdekelte a filozófia, az irodalom és minden olyan dolog, melyben az emberi lét jelentése tárul fel. Szüntelenül faggatta Einsteint: Mi az a megfordíthatatlanság? Milyen viszonyban áll a fizika törvényeivel? S Einstein olyan türelemmel válaszolgatott, amelyet csak ez az egyetlen barát érdemelt ki tőle: a megfordíthatatlanság csupán látszat, melyet valószínűtlen kezdeti feltételek hoznak létre. Ez a végeérhetetlen párbeszéd Besso haláláig folytatódott, amikor is Einstein egyik utolsó levelében ezt írta: „Michele kicsit hamarabb hagyta el ezt a különös világot, mint én. Ám ennek nincs jelentősége. A mi számunkra, meggyőződéses fizikusok számára a különbség múlt, jelen és jövő között csupán illúzió, még ha makacs illúzió is.”

A mai fizika már nem tagadja az időt. Elismeri az egyensúly felé tartó változások megfordíthatatlan idejét, azoknak a struktúráknak a ritmikus idejét, amelyeknek lüktetése a rajtuk áthaladó világból táplálkozik, a változásoknak az instabilitás és a fluktuációk felerősödése miatt elágazó idejét, s még azt a mikroszkopikus időt is, amelyet az utolsó fejezetben vezettünk be, s amely a mikroszkopikus fizikai változások meghatározatlanságát mutatja. Az egyes bonyolult létezők mindegyikét idők sokasága alkotja, melyek finom és sokágú rendszerben kapcsolódnak egymáshoz. A történelem — akár egy élőlény, akár egy társadalom történelme — soha többé nem vezethető vissza az egyedüli idő egyhangú egyszerűségére, még ha ez az idő az invariancia hasznáival jár is, vagy ha felvázol is valaminő utat a fejlődés vagy a leromlás felé. Carnot és Darwin szembenállása átadta helyét a komplementaritásnak, melyet már csak meg kell értenünk összes egyedi megjelenésében.

Az idő sokféleségének felfedezése nem valamiféle „hirtelen megvilágosodás”, mely egyik pillanatról a másikra bukkant fel a tudományban, éppen ellenkezőleg, a tudósok csak a mi korunkban hagytak fel annak tagadásával, amit — hogy úgy mondjuk — *mindenkinek tudott*. Ezért van az, hogy az időt tagadó tudomány története egyszerismind társadalmi és kulturális feszültségek története is.

Az, ami kezdetben merész fogadás volt az uralkodó arisztoteliánus hagyomány ellenében, előbb fokozatosan dogmatikus állítássá alakult át, mely mindazok — például kémikusok, biológusok, orvosok — ellen irányult, akik igyekeztek tiszteletben tartatni a természet minőségi sokféleségét. A XIX. század végére azonban a szembenállás áthe-

lyeződött, már nem annyira az egymástól különvált akadémiai tudományokba szerveződött tudósok között dült, hanem „a tudomány” és a kultúra többi része, különösen a filozófia között. Mellesleg joggal láthatjuk a korabeli filozófiai irányzatokon belül meggyökeresedett, szinte szigorú rangsorba állított ellentétek némelyikében a tudományos diskurzus dogmatizmusával való összekülönbözés jelét. Így a fenomenológusok „megélt ideje” vagy a tudomány objektív világa és a fennhatósága alól kikerülő *Lebenswelt* egyes vonásaikat annak a szükségletnek köszönhetik, hogy utolsó bástyát emeljenek a tudomány pusztítása ellenében. Úgy írtuk le a tudomány törekvéseit, mint amelyek egyik történelmileg és szellemileg meghatározott állapotához kötődnek. Ám egyesek számára a tét óriási volt, az ember hivatása vagy sorsa forgott kockán, s az ütközésekben az ember üdvössége vagy veszte vált kérdésessé. Nem említi-e Gérard Granel, hogy Husserl szerint a filozófia — meditáció minden tapasztalat eredeti gyökereiről — harcban áll a feledéssel, amely az újkori emberiséget arra kárhóztatná, hogy minden tudományával és hatékonyságával egyetemben a filozófia — Husserl szerint a filozófia hozta létre az európai világot és tudományt — romos épületében lakjon, hasonlatosan Angkor templomának majomhordáihoz?<sup>191</sup>

Sok-sok szembenállás — látszat és valóság (annak kérdésével egyetemben, hogy a tudomány vagy a filozófia fog-e ítélni), tudás és nem-tudás, vak előítéletek és szakításból vagy önmegtadadásból származó tudás — az alapok tudománya és az epifenomének tudománya között tagolja annak az összeütközésnek a terepét, amelytől manapság, amennyire csak lehet, szeretnénk elhatárolódnunk. A fizikusok mindenesetre elveszítették minden *elméleti* érveket ahhoz, hogy a területenkívüliséget vagy az elsőbbséget illetően bármilyen kiváltságra is igényt tarthassanak. Tudósként ahhoz a kultúrához tartoznak, amelynek ők is alkotórészei.

### 3. Színészek és nézők

Talán itt is Einstein története segít hozzá bennünket annak megértéséhez, hogy milyen megrázó átalakuláson ment át századunkban a fizika. Ugyanis Einstein volt az, aki elsőként fedezte fel a *lehetetlenségbizonyítások* termékenységét. Felismerte annak lehetetlenségét.

hogyan az információ a fénysebességnél gyorsabban terjedjen, kizárta az egymástól távol eső dolgok abszolút egyidejűségének fogalmát, és a „nem-megfigyelhető” tényező kizárásából kiindulva felépítette a relativitáselméletet. Ebben az eljárásban annak az eljárásnak a megfelelőjét látta, amely a termodinamikát az örökké tartó mozgás lehetetlenségére alapozta. Ám egyes kortársai, mint például Heisenberg, nagyon is tisztában voltak a kétféle lehetetlenség különbségével; a termodinamika esetében egy bizonyos *helyzetet* úgy definiálunk, mint ami nem létezik a természetben; a relativitáselmélet esetében a *megfigyelés* nyilvánul lehetetlenné, azaz egy kommunikációtípus a természet és a természetet leíró között. Heisenberg Einstein nyomán, de Einstein ellenében alapozta meg a kvantumelmélet formalizmusát a fizika által nem-megfigyelhetőnek nyilvánított mennyiségek kizárására.

Merleau-Ponty *Előadásaiban*<sup>192</sup> azt mondta, hogy a tudomány „filozófiai jellegű” felfedezései, alapvető fogalmi átalakulásai gyakran *negatív felfedezésekből*, a nézőpont felborításának lehetőségéből és kiindulópontjából származnak. A lehetetlenségbizonyítások — akár a relativitáselmélet, akár a kvantummechanika vagy a dinamika területén — megtanítanak arra, hogy a természetet nem lehet „kívülről”, az elfogulatlan néző szemszögéből leírni. A leírás kommunikáció is, s ezért fölöttébb általános kényszereknek van alávetve, amelyeket a fizika azért lehet képes felismerni, mert e kényszerek makroszkopikus, a fizikai világban elhelyezkedő lényként azonosítanak bennünket. A fizikai elméletek ma már feltételezik a természettel való kommunikáció lehetőségének definícióját, olyan kérdések felfedezését, amelyeket a természet nem érthet meg, hacsak nem mi vagyunk azok, akik nem vagyunk képesek megérteni a kérdésekre adott válaszait.

Színésznek és nézőnek ez a kettőssége, amelytől ezentúl nem szabadulhatunk, azokban az elméleti érvekben is megjelenik, amelyekkel a fizikai leírások új helyzetét érzékeltetjük. Így továbbra is hivatkozhatunk a fázistér pontjainak és a pályáknak bennünket nézőként tételező fogalmára — még a gyenge stabilitású rendszerek dinamikai elméletében vagy a kvantummechanikában is —, ám rögtön hozzátesszük, hogy mennyiben van szó mindkét esetben inadekvát idealizációról. Itt felmerülnek bizonyos, az „idealizmussal” rokon kérdések, de figyelemre méltó, hogy az új fogalmi álláspont általunk leírt elfogadásában a legmeghatározóbb követelmények azok voltak, ame-

lyeket többnyire a „materializmushoz” társítanak, azaz oly módon megérteni a természetet, hogy ne legyen képtelenség azt mondani: bennünket is ő hozott létre.

Kettős — színészi és nézői — voltunk behelyezhető egy olyan gondolati közegbe, mely világosan megérteti velünk az elméleti megismerés helyzetét, úgy, ahogyan azt ma a fizika fejlődésének jóvoltából elképzelhetjük. Szeretnénk felszínre hozni azt a — ma már lehetséges — egységes kapcsolatot aközött, amit a klasszikus tudomány egymással szembeállított, azaz a testetlen megfigyelő és a külső nézőpontból leírt tárgy között. Természetesen e szembeállítás meghaladása, annak megmutatása, hogy a fizikai fogalmakban mostantól fogva benne rejlik a megfigyelőre való utalás, egyáltalán nem jelenti azt, hogy ezt a megfigyelőt „biológiai”, „pszichológiai” vagy „filozófiai” szempontból kellene jellemeznünk. A fizika beéri annyival, hogy felruhazza azzal a tulajdonsággal, amely a természethez fűződő kísérleti viszonyoknak mindig szükséges feltétele, a múlt és jövő közti különbségtétellel, ám az összetartozás követelménye arra késztet bennünket, hogy azt is kutassuk, vajon a makroszkopikus világban a fizika rátalál-e ugyanerre a típusú tulajdonságra.

Induljunk ki, példának okáért, ebből a megfigyelőből. Azt mondtuk, hogy az egyetlen tőle megkövetelt dolog az időbeli tevékenység, enélkül a környezet semmilyen kutatása — és *a fortiori* semmilyen megfordítható vagy megfordíthatatlan fizikai leírás — nem képzelhető el: a mérőeszköz meghatározása vagy egy kísérlet előkészítése önmagában szükségessé teszi a különbségtételt az „előbb” és az „azután” között, az pedig, hogy képesek vagyunk megismerni a megfordítható folyamatot, az ok és okozat közti megfordítható egyenértékűségre visszavezethető egyszerű változást, a változás megfordíthatatlanságáról való tudásunknak köszönhető. Ám a klasszikus dinamika úgyszintén kiindulópont. Ugyanis a megfordítható dinamikai törvények *számunkra* a természet matematizálásának hivatkozási alapjául szolgálnak. Tehát a megfordítható pályák törvényszerű világa továbbra is fizikánk középpontjában marad, olyan fogalmi és technikai hivatkozást jelent, amely szükséges ahhoz, hogy definiálhassuk és leírhassuk azt a területet, amelyben az instabilitás lehetővé teszi a megfordíthatatlanságot, azaz az egyenletek szimmetriájának megtörését az idő tekintetében. A megfordítható világ azonban ekkor már nem több különös esetről,<sup>5</sup>

a folyamatok bonyolult világának leírását lehetővé tevő operátorral rendelkező dinamika maga is kiindulóponttá válik: makroszkopikus szinten megszülethet belőle az egyensúlyi állapotok — a statisztikai kiegyenlítődésemből származó átlagos állapotok — egyhangú tehetlensége, de megszülethetnek belőle az egyensúlytól való eltérésekből származó szinguláris disszipatív struktúrák is, s végül maga a folyamattörténet, az egymást követő elágazásokból álló egyedi folyamat is. Arról a struktúráról pedig, amely egy ilyen folyamatból származik, azt mondhatjuk, hogy működése történelmének gyümölcse, s így magában hordozza múlt és jövő különbségét is. A kör tehát bezárult, a makroszkopikus világ maga is képes olyan kiindulópontul szolgálni, amelyre a megfigyelésekhez szükségünk van. Összegezzük ezt a körkörös sémát:



A klasszikus dinamika teljes mértékben ideális megfordíthatóságával kétfajta változásmód áll szemben. Ezekre abból a megfordíthatatlanságból következtethetünk, amelynek a kiterjesztett dinamika ad értelmet. Az egyik, a múlthoz kötődő, a legvalószínűbb módon tart az egyensúly felé; a másik, a teljesebb értelemben történelminek nevezhető jövőre nyitott, azokból a disszipatív struktúrákból származik, amelyek a véletlenszerű szingularitások esélyét adják. De semmilyen logikai szükségszerűség nem kényszerítette ki, hogy a természetben valóban létezzenek disszipatív struktúrák. Ahhoz, hogy a makroszkopikus világ „megfigyelőkkel” teli világ, azaz természet legyen, egy olyan univerzum „kozmológiai tényére” volt szükség, ebben a sémában megjelenő igazság tehát nem logikai vagy ismeretelméleti jellegű, hanem annak a helyzetnek az igazsága, amelyet mi,

makroszkopikus lények foglalunk el az egyensúlytól távol tartott világban. Megnyilvánul benne a *mi* fizikánk történelmi igazsága is, amely a megfordítható és determinisztikus viselkedések leírásával kapcsolatban állt elő, s a fizika bennük ma már nem alapvető valóságot, hanem hivatkozási keretet lát. Lényegesnek véljük, hogy ez a séma nem tételez fel semmilyen alapvető módot vagy pillanatot: a három mód mindegyike részt vesz a következményláncban, amelyben az az új típusú belső összetartozás nyilvánul meg, amelyre a legújabb fizika joggal törekedhet.

Az ismertetett séma olyan leírásokat kapcsol össze, melyek mindegyike magának követelte régebben az elsőbbséget. Általánosabban, amikor azokat a bonyolult élő és társadalmi rendszereket akarjuk leírni, amelyek ma érdekelnek bennünket, világossá válik, hogy a „felületes” leírás többé semmiképpen sem engedhető meg, s minden elméleti modellben benne rejlik a kérdés megválasztásának előfeltételezése.

Hangsúlyozzuk, hogy ebben óvatosságra intő tanulság rejlik. Ma ugyanis az „egzaktnak” mondott tudományokra az a feladat hárul, hogy kilépjenek a laboratóriumokból, ahol fokozatosan felismerték annak szükségét, hogy ellenálljanak az általános természeti igazság keresése ígézetének. Ma már tudják, hogy az eszményített helyzetek nem adják meg nekik a varázskulcsot, azaz — szembesülve azzal a sokszínű gazdagsággal, amelyet oly sokáig nem méltattak figyelemre — végre vissza kell változniuk a „természet tudományaivá”. Ekkor bele fognak ütközni abba a problémába, amelyre egyesek az ember-tudományok egyediségét kívánták alapozni — akár felemelésük, akár lealacsonyításuk szándékával —, nevezetesen a mindenki számára ismerős helyzetekre vonatkozó, már létező tudásanyaggal való párbeszéd szükséges voltának problémájába. A természettudományok — a társadalomtudományokhoz hasonlóan — így többé már nem felelkezhetnek el arról a társadalmi és történelmi beillesztettségről, amely együtt jár azzal az ismerős viszonyal, amely szükséges egy valós helyzet elméleti modellálásához. Tehát fontosabb, mint valaha, hogy ezt a beillesztettséget ne tekintsük akadálnak, s hogy ismereteink viszonylagossága ne vezessen valamilyen kiábrándult relativizmushoz. A szociológia helyzetéről gondolkodván Merleau-Ponty már hangsúlyozta ennek fontosságát, annak sürgősségét, hogy elgondoljuk azt, amit ő „a helyzet igazságának” nevezett:

„Addig, amíg kitartok a semmitől sem függő néző, a nézőpont nélküli megismerés eszménye mellett, helyzetemet csakis a tévedés melegágyának láthatom. Ám mihelyt elismerem, hogy helyzetem miatt részévé váltam minden olyan tevékenységnek és megismerésnek, melynek értelme lehet számomra, s hogy helyzetem egyre inkább tartalmazza mindazt, ami *lehet* számomra, akkor a helyzetem végeségében vett érintkezésem a társadalmival úgy nyilvánul meg számomra, mint minden igazság forrása — beleértve a tudományét is —, és mivel van fogalmunk az igazságról, s ki sem léphetünk belőle, csak az marad, hogy a helyzetben rejlő igazságot határozzuk meg.”<sup>193</sup>

Így tehát a tudomány ma már *emberi* tudományként lép fel, olyan tudományként, melyet emberek művelnek emberek üdvére. A megismerő tevékenységek gazdagságával és sokszínűségével élő társadalomban tudományunk abban az egyedülálló helyzetben van, hogy költőként hallgathatja a természetet — a szó etimológiai értelmében, ahol is a költő egyenlő az alkotóval —, tevékeny, beavatkozó és számításokat végző kutatást jelent, mely azonban most már képes kellő tisztelettel adózni az általa szólásra bírt természetnek. Valószínű, hogy ez az egyedülálló jelleg ezentúl is ellenségességet vált ki azokból, akik gyanakodva figyelnek minden számítást, minden beavatkozást, ám ez már nem az az ellenséges érzület lesz, amelyet nagyon is joggal kelthettek volna fel a klasszikus tudomány bizonyos sommás kijelentései.

#### 4. Örvénylés az örvénylő természetben

Mindeddig nem léptünk túl egy szigorúan tudományos problémakör keretein. Ám semmi okunk arra, hogy megmaradjunk e kereten belül; a filozófia minden időkből ott kereste a választ kérdéseire, ahol tudta, és ma már az elméleti fizika is képes értelmezni bizonyos filozófiai kérdéseket, melyek az embernek a világban elfoglalt helyére vonatkoznak. Például a dinamikának a stabil rendszerek — melyek pályáit ki lehetett számolni — modelljétől a gyenge stabilitás felfedezéséig tartó átalakulásával kapcsolatban két filozófiai hivatkozás is említhető: egyrészt a leibnizi monászok, másrészt a lucretiusi clinamen, két olyan filozófiai konstrukció, amelyet a legmerészebbek közül valóként bíráltak.<sup>194</sup> A lucretiusi atomok pályáit „ok

nélkül” megzavaró clinament gyakorta bélyegezték képtelennek és következetlennek. Leibniz monaszait pedig, ezeket az egymással nem kommunikáló metafizikai egységeket, melyeknek „nincs ablakuk, melyen bármi be- vagy kiléphetne”, „logikai őrülségnek” minősítették.

Márpedig láttuk, hogy minden olyan rendszer, melynek pályái pontosan kiszámíthatók, rendelkezik azzal a tulajdonsággal, hogy „kitüntetett leírás” adható róla: kölcsönhatás nélküli entitások formájában, melyek mindegyike önállóan — mintha csak egyedül lenne a világon — fejt ki látszólag tehetetlen mozgását. Így a teljes mozgás során mindegyikük levezethető saját kiindulási állapotából, ám az összes többivel előzetesen kialakult harmóniában létezik együtt. Ebben a leképezésben minden egyes entitás minden egyes állapota — miközben teljes mértékben meghatározza saját magát — minden egyes pillanatban tükrözi az egész rendszer állapotát, annak legkisebb részleteivel együtt. Ez a leibnizi monász egyik meghatározása. Lépünk tovább: ha le akarjuk írni a Bohr-féle atom elektrópályái alkotta stacionárius állapotokat, röviden azt mondhatjuk, hogy ezek a monászok.

A hamiltoni dinamika által felfedezett fizikai tulajdonságot most már kifejezhetjük a következő formában is: minden integrálható rendszerről — a II. fejezet 3. szakaszában meghatározott értelemben — adható monadikus ábrázolás. S fordítva, a leibnizi monászok tana kifejezhető dinamikai nyelvezetten: *a Világegyetem integrálható rendszer.*

Beszélhetünk-e egybeesésről? Vajon a — tömegekkel és erőkkel dolgozó *newtoni leképezés* és a *monadikus leképezés* — az utóbbiban a különböző egységek viselkedésének belső törvénye spontán változásban nyilvánul meg — közötti matematikai egyenértékűség alapján véve nem annak a ténynek a megjelenése-e fizikai-matematikai tulajdonság formájában, hogy mindkettő ugyanazon a filozófiai választáson nyugszik: elsőbbséget adnak a létezésnek az átalakulással, az állandóságnak a változással szemben. Leibniz, a dinamika atyja, nyilván tudta azt, amit Whitehead is hangsúlyozott:<sup>195</sup> a newtoni erők csak tisztán külsődleges viszonyokat létesítenek a tömegek között, melyek csupán közömbös hordozóik; nem származhat belőlük olyan változás, mely nem egy változatlan igazság örök és egyhangú ismétlődése volna.



De a fotonelnyelési és -kibocsátási folyamatok — azoknak a kísérleti adatoknak a forrásai, amelyek a kvantummechanika alapjában állnak — önmagukban elegendőek annak kimondásához, hogy ez nem minden: ezek a folyamatok olyan kölcsönhatást hoznak létre a „monadikus” elektronpályák között, amely semmilyen formális átalakítással nem küszöbölhető ki.

A folyamatok fizikája egy harmadik leírasmód bevezetésére készített bennünket, amely úgyszintén nem vezethető vissza a leibnizi vagy newtoni leképezésre, s amely a változást nem jól meghatározott, de önálló és kölcsönhatás nélküli, nem pedig rosszul meghatározott (mivel potenciális energia van „közöttük”) egységekkel és kölcsönhatásaikkal fejezi ki. A harmadik leírasmód valóságos egységeket (fotonokat, elektronokat) ír le, amelyek — meghatározásuk szerint — részt vesznek az átalakításokkal nem kiküszöbölhető disszipatív folyamatokban. Ezek az egységek — a newtoni egyszerű „erőhordozókkal” szemben — feltételezik a megfordíthatatlan kölcsönhatást a világgal, fizikai létüket is az a változás határozza meg, amelyben részt vesznek.<sup>196</sup>

Anélkül, hogy továbblépnénk az új távlatok kibontásában, a létezés és az átalakulás kapcsolódásának tekintetében a fizikai elmélet és a filozófiai rendszer közeledésének felismerése céljából azt javasoljuk, hogy ezt a harmadik leírasmódot nevezzük „whiteheadi” leírasmódnak. Whitehead ugyanis ezt írja:

„A »minden dolog áramlik« mondat értelmének tisztázása a metafizika egyik legfontosabb feladata.”<sup>197</sup> Fizika és metafizika ma összefog azért, hogy elgondoljanak egy világot, melyben a folyamat, a változás a fizikai létezés alkotórésze lenne, és amelyben — ellentétben a leibnizi monászokkal — a létező entitások kölcsönhatásba léphetnének, vagyis megszülethetnének és elpusztulhatnának.

Egy másik filozófiai kérdésfeltevés, melyet megvizsgálhatunk, a dialektikus materializmusé és azoké az általa keresett egyetemes törvényeké, amelyeknek megfelelne a természet dialektikus változása. Akárcsak a materialisták számára, akik egy történelemre képes természetet részesítettek volna előnyben, a mechanika törvényei minket is sokban akadályoztak, de mi nem nyilvánítottuk őket hamisnak az egyetemes törvények egy másik típusa nevében. Éppen ellenkezőleg, amikor felfedeztük alkalmazási lehetőségeik határait, nem fosztottuk meg őket alapvető jellegüktől. Olyan technikai és fogalmi hivat-

kozást jelentenek számunkra, amelyre szükségünk van annak a területnek a leírásához és definiálásához, ahol már nem elégségesek a mozgás meghatározásához.

A törvényszerű és rendezett világra, s — még technikaibb értelemben — a párhuzamos változások monadikus elméletére való hivatkozás szerepe osztatott a lucretiusi atomok — úgyszintén párhuzamos, törvényszerű és örök — zuhanására a végtelen űrben. Már említettük a clinament és a lamináris fluxusok instabilitását. Itt felmerül egy értelmezés lehetősége, mely kevésbé kötött ehhez vagy ahhoz a különös fizikai jelenséghez. Mint ahogy Serres megmutatta,<sup>198</sup> a végtelen zuhanás *modell* ahhoz, hogy elgondoljuk a természeti genezist, azt a zavart, amelyből a dolgok születnek. A függőleges esést megzavaró clinamen nélkül, mely lehetővé teszi az addig a maguk saját egyhangú zuhanásában elszigetelt atomok találkozását, sőt társulását, semmilyen természet nem jöhetne létre, hanem csupán az egyenértékű okok és okozatok láncolata folytatódna örökké a sorszerűség törvényének engedelmessé (foedera fati): *Denique si semper motus connectitur omnis et uetere exoritur (semper) nouus ordine certo nec declinando faciunt primordia motus principium quoddam quod fati foedera rumpat, ex infinito ne causam causa sequitur, libera per terras unde haec animantibus exstat...?*<sup>199</sup>

Mondhatnánk, Lucretius *feltalálta* a clinament, ugyanabban az értelemben, amelyben az ereklyéket vagy a régészeti kincseket találják fel: már azelőtt, hogy ásatásba fognánk és ténylegesen feltárnánk őket, már „tudjuk”, hogy ott vannak. A mai fizika ugyanígy találta fel a megfordíthatatlan időt. Ugyanis ha csupán egyhangú és megfordítható pályák léteznének, akkor honnan származnának azok a megfordíthatatlan folyamatok, amelyek létrehoznak és éltetnek bennünket? Már „tudtuk”, hogy az idő nem megfordítható, és ezért válhatott újítás forrásává az a felfedezés, hogy bizonyos rendszerek pályáinak gyenge a stabilitása, ami lehetőséget adott a dinamika kiterjesztésére.

A természet ott kezdődik, ahol a pályák már nem meghatározottak, ahol megtörnek a determinisztikus változások rendezett egyhangú világát irányító *foedera fati*. S ott kezdődik az az új tudomány is, amely leírja a természeti lények megszületését, sokasodását és halálát. „A zuhanás, az ismétlődés, a szigorú egymásba láncolódás fizikájának helyébe a véletlen és a körülmények alkotó tudománya

lép.”<sup>200</sup> A *foedera fati* helyébe a *foedera naturae* lépnek, melyek kapcsán Serres megjegyzi, hogy egyformán jelölnek természeti „törvényeket”, a dolgok helyi, egyedi és történelmi kapcsolatait, valamint „szövetséget”, szerződést a természettel.

Így a lucretiusi fizika segítségével visszataláltunk ahhoz a kapcsolathoz, amelyet az újkori tudományban fedeztünk fel a fizikai leírás alapján álló döntő választások és az embernek a természetben elfoglalt helyére vonatkozó filozófiai, etikai vagy vallási elképzelések között. Az egyetemes egymásba láncolódások fizikája szemben áll azzal a tudománnyal, amely már nem harcol a törvény és az uralom nevében a zavar vagy a meghatározatlanság ellen. Az áramlások klasszikus fizikája Arkhimédésztől Clausiusig szemben áll az örvénylések, az elágazó változások tudományával, azzal a tudománnyal, amely kimutatja, hogy — a csatornákat elhagyva — a zavar oka lehet a dolgoknak, akárcsak a természetnek és az embereknek is. „A hellén bölcsesség itt egyik csúcsára ér. Ahol az ember a világban és a világból, az anyagban és az anyagból van. Nem idegenként áll velük szemben, hanem barátként, ismerősként, asztaltársként és sorstársként. Vérségi kapcsolatban áll a dolgokkal. Sok egyéb bölcsességet és sok egyéb tudományt építettek, éppen fordítva, ennek a szerződésnek a felbontására. Az ember idegenként áll a világ, a hajnal, az ég, a dolgok előtt. Gyűlöli őket, harcol ellenük. Környezete veszélyes, legyőzendő és szolgaságban tartandó ellenség... Epikurosz és Lucretius egy kibékített világegyetem lakói, amelyben a dolgok tudománya és az ember tudománya összetalálkoznak az azonosságban. Én vagyok a zavar, örvény az örvénylő természetben.”<sup>201</sup>

## 5. A nyitott tudomány

Egy másik kérdésfeltevést is megejthetünk, ezúttal a tudomány fejlődésének sajátosságaira irányítva figyelmünket. A tudománynak ezt a belső dinamikáját eléggé tág keretben tárgyaltuk, szüntelenül újra és újra feltett kérdések, lassú ütemű változások formájában. Az elbeszélte történetben kevés igazi megfordíthatatlanságot, kevés végleg feladott, időszerűségét veszített kérdést találtunk. A tudomány fejlődését gyakran a fajok legklasszikusabb értelemben vett bonyolult

fejlődéséhez hasonlítják: egyre eltérőbb és egyre szakosodottabb tudományok bonyolult ágrajza ez, megfordíthatatlan és egyirányú fejlődés. Szeretnénk javasolni, hogy a biológiai képet cseréljük fel a geológiai képre, hiszen az általunk leírtak inkább a csuszamlást idézik fel, semmint a mutációt. Olyan kérdések, melyeket elfeledett vagy tagadott valamelyik tudomány, csendben átkerültek egy másikba, új elméleti közegben jelentek meg újra. Felszín alatti vagy felszíni útjuk szemünkben néhány olyan kérdés néma aknamunkájára utal, melyek meghatározták a tudományok megsokasodását áthidaló mély kapcsolatok létrejöttét. S gyakran a tudományok találkozási pontjaiban, a különböző megközelítési utak összehatalálkozása következtében bukkantak újra felszínre az elintézettnak hitt problémák, kerültek újra elő — megújult formában — ősrégi, a tudományok osztódásából származó válaszfalaknál régebbi kérdések.

Jellemző ebből a szempontból, hogy a tudományok fejlődésének sok fogalmi meglepetése úgy jelenik meg, mintha valamiféle hosszú távú bosszúállás eredménye lenne. A kibocsátási és elnyelési spektrumok felfedezése, amely maga után vonta a kvantumfizikai operátor fogalmának bevezetését, vagyis a tömegek és pályák klasszikus tudományától való döntő eltávolodás valamiképpen azoknak a régi kémikusoknak a bosszúja, akik a maguk idejében nem tudták érvényre juttatni a kémiai anyag sajátosságait a tömeg általánossága ellenében. A dinamika és a kémiai elemek tudományának találkozási pontjában újra felbukkant a kérdés, amelyet már ők is feltettek, s amelyet nem lehetett elfojtani. De Stahl is bosszút állt, hiszen a fizikai kémia és a biológia termékeny találkozásának pillanatában, amikor a molekuláris biológia megszületett, elhangzik a következő állítás: az egyetlen biológiai folyamat, amelyet a fizika le tud vezetni a maga törvényeiből, a halál és a bomlás. Már beszéltünk a newtoni tudomány legyőzöttjeinek visszavágásáról is: e tudomány teljes diadala közepette kihirdették a hőterjedés matematikai törvénye, mely a fizikai kémiából olyan tudományt teremt — a folyamatok tudományát —, amely soha többé nem vezethető vissza a klasszikus dinamikára.

A tudománytörténet nem olyan egyszerű, mint amilyennek a specializáció felé tartó biológiai evolúciót vélik, finomabb, bonyolultabb, meglepőbb történet annál. Mindig elképzelhető, hogy hátra tekint, hogy — megváltozott szellemi közegben — előkerülnek elfeledett kérdések, hogy leomlanak az általa épített válaszfalak, és

leginkább, hogy túllép a legmélyebben meggyökeresedett előítéleteken, még azokon is, amelyek alkotó jellegűnek mutatkoznak számára.

Ez a leírás éles ellentétben áll azzal a társadalomlélektani elemzéssel, amelynek segítségével nemrég Thomas S. Kuhn felfrissítette a tudományfejlődés pozitívista felfogásának néhány lényeges elemét: fejlődés a specializáció felé, a tudományágak növekvő elzárkózása egymástól, a „normális” tudományos viselkedés azonosítása a „komolyan”, „csendben” munkálkodó tudóséval, aki nem időzik a kutatásainak átfogó jelentését firtató „általános” kérdéseknél, s aki nem tekint ki az általa művelt tudomány sajátos problémái mögül, és hisz abban, hogy a tudományos fejlődés lényegileg független a kulturális, gazdasági és társadalmi problémáktól.<sup>202</sup>

Nem feladatunk, hogy megkérdőjelezzük a tudományos tevékenység e leírásának érvényességét. Mindenképpen elegendő lesz itt, ha kiemeljük részleges és történelmileg meghatározott jellegét. *Történelmileg meghatározott*, azaz a tudományos tevékenység annál inkább megfelel a kuhni leírásnak, minél inkább azokon a mai egyetemeken folyik, ahol a kutatás és a jövő kutatók kiképzése rendszerszerűen összekapcsolódik, vagyis abban az akadémiai szervezetben, amely a XIX. század folyamán alakult ki, s azelőtt nem is létezett. Valóban ebben a szervezetben találjuk meg a burkolt tudás, a „paradigma” kulcsát, amelyet Kuhn megtesz a tudományos közösség által folytatott normális kutatás alapjának. A diákok újra megoldják — gyakorlatok formájában — a megelőző nemzedékek által már megoldott kulcsproblémákat, s így sajátítják el azokat az elméleteket, amelyekre egy tudományos közösségben a kutatás épül, továbbá azokat az ismertetőjegyeket is, amelyek egy problémát érdekesként, egy megoldást pedig elfogadhatóként határoznak meg. A diák kutatóvá válása az ilyen típusú oktatásban folytonos jellegű: kutatóként olyan problémákat fog megoldani, amelyeket a modellproblémákhoz lényegileg hasonló problémákként ismer fel, s hasonló technikákat is fog alkalmazni, most azonban olyan problémákkal lesz dolga, amelyeket előtte még senki sem oldott meg. A *részleges* szó pedig azt jelenti, hogy Kuhn leírása még korunkban is — melyre még a leginkább érvényes — a tudományos tevékenységnek legfeljebb egy dimenzióját értelmezi, s ez a dimenzió az egyes kutatók és azon intézményes közeg szerint nyeri el fontosságát, amelyben dolgoznak.

A paradigma Kuhn által értelmezett megváltozásával kapcsolatban lehet leginkább pontosítani ezt a megjegyzést. Az átalakulás ezek szerint gyakran *válság* alakjában lép fel: a paradigma ahelyett, hogy szótlan, szinte láthatatlan normaként viselkedne, ahelyett, hogy „magától értetődne”, vita tárgyává válik és megkérdőjeleződik. A közösség tagjai — ahelyett, hogy közös akarattal a mindannyiuk által felismert problémák megoldásán ügyködnének — „alapkérdéseket” tesznek föl, kétségbe vonják módszereik érvényességét. A csoport, melyet kiképzése egyneművé alakított a kutatási tevékenység tekintetében, felbomlik. A nézőpontok, a kulturális tapasztalat, a filozófiai meggyőződés különbözősége felszínre kerül, és gyakran döntő szerepet játszik az új paradigma megtalálásában, melynek feltűnése méginkább növeli a viták hevességét. Próbára teszik az egymással versengő paradigmák termékeny voltát, mindaddig, amíg az egyik különbség, az akadémiai köröktől felerősítve és megszilárdítva, eldönti egyik vagy másik győzelmét. A tudósok új nemzedékeivel lassanként ismét megszilárdul a szótlanság és az egyhangúság, új tankönyvek íródnak, és megint csak úgy vélik, hogy minden magától értetődik.

Ebből a szemszögből nézve a tudományos újítás mozgatója éppen azoknak a tudományos közösségeknek az erősen hagyományörző viselkedése, amelyek makacsul ugyanazokat a technikákat megfogalmakat alkalmazzák a természetre, és amelyek végül mindig ugyanolyan makacs ellenállásba ütköznek részéről: a természet nem hajlandó azon a nyelven kifejezni magát, amelyet a paradigma szabályai feltételeznek, és a válság, amelyet az imént lefestettünk, azért olyan mély, mert a bizalom vak volt. Ekkor minden szellemi erőforrást az új nyelvezet megtalálásának szentelnek, kiindulva az ettől fogva döntőnek tartott, azaz a természet ellenállását kiváltó problémák együtteséből. A tudományos közösségek tehát rendszeresen válságokat robbantanak ki, bár nem állítható, hogy keresnék őket.

A kérdés, melyet feltettünk a tudománytörténetnek, arra készített bennünket, hogy egészen más dimenziókban keressük a választ, mint Kuhn. Főleg a folytonosság kötötte le figyelmünket, nem a „nyilvánvaló” kontinuitás, hanem azoknak a kérdéseknek a rejtőző folytonossága, amelyek szüntelenül foglalkoztattak egyes tudósokat. Úgy véljük, nem azt kell kutatnunk, hogy az egymásra következő nemzedékeket miért kötötte le a bonyolult viselkedések sajátos jellegének, a tüz tudományának, az anyag átalakulásainak, valamint a tömegek és

pályák leírásának megvitatása, hanem inkább azt kellene megértenünk, hogyan feledehették el ezeket a problémákat, Stahl, Diderot, Venel problémáit.

Az elmúlt száz év során a fizika történetében természetesen voltak olyan válságok, melyek emlékeztetnek Kuhn leírására, olyan válságok, melyeket a tudósok anélkül szenvedtek el, hogy keresték volna őket, olyan válságok, melyeket kiválthattak ugyan filozófiai problémák, de csak olyan bizonytalan helyzetben, melyet az az eredménytelen kísérlet határozott meg, hogy megpróbáltak egy paradigmát egy természeti jelenségre kiterjeszteni. De látunk olyan problémacsoportokat is, melyeket tudatos és szándékos módon, filozófiai problémákból kiindulva vetettek fel. S látjuk ennek az eljárásnak a termékeny voltát is. A tudósnak nem kell feltétlenül Kuhn módjára, alvajáróként viselkednie, *kezébe veheti a kezdeményezést* anélkül is, hogy lemondana tudósi mivoltáról, megpróbálhat a tudományba új távlatokat és új kérdéseket beilleszteni. A tudományok története, mint minden társadalomtörténet, összetett folyamat, amelyben egymás mellett léteznek a helyi kölcsönhatások által meghatározott események és azok a programok, amelyek a tudomány feladatára vonatkozó átfogó elképzelésekből és a megismerés törekvéséből születtek. Egyúttal szákcába tévedt törekvések, bukott gondolatok, céljukat tévesztett tettek szomorú története is. Itt is felhozhatjuk példának Einsteint, aki a relativitáselmélettel, az energia kvantálásával, kozmológiai modelljével az első csapásokat mérte a világ és a megismerés klasszikus felfogására, miközben programjával állandóan visszatért a fizikai világ egyetemes, teljes és determinisztikus leírásához. Einstein megpróbáltatásai abból az áthidalhatatlan távolságból származtak, amely a cselekvők egyéni szándéka és a között a tényleges jelentőség között feszül, amellyel a átfogó környezet ruházza fel tetteiket.

## 6. A tudományos kérdésfeltevés

A tudomány alapvetően nyitott voltának elismertetése mellett szálltunk síkra, különösen amellet, hogy a filozófiai és tudományos kérdéscél feltevések termékeny átjárhatóságát többé ne tegyék lehetlenné a válaszfalak, és ne rombolja le a szembenállás. Beszéltünk a klasszikus tudomány igényeinek filozófiai „ratifikációjáról”, mely

egyed filozófusoknak lehetővé tette, hogy elhelyezzék és megmerevítsék a tudományos eljárást, és ezzel jogot szerezzenek eljelen-téktelenítésére. Ez a stratégia sokáig uralkodó volt, a határozott tiltakozások ellenére is, mint amilyen Maurice Merleau-Ponty, aki — egy bizonyos nézőpontból — könyvünk tárgyának és célkitűzé-seinek legjobb meghatározását adta:

„A tudomány igénybevétele nem szorul igazolásra: bármilyen elképzelés él is bennünk a filozófiáról, annak tisztázni kell a tapasztalatot, a tudomány pedig tapasztalatunk része... nem lehet eleve kifogásokat támasztani ellene azzal az üreggel, hogy bizonyos léte-méleti előítéleteket követve működik. Ha ezek valóban előítéletek, akkor magának a tudománynak — a létezők birodalmát bejárva — lesz alkalma visszautasításukra. A lét utat tör magának a tudománon keresztül, mint ahogy minden egyéni életen keresztül is. A tudomány elemzésével a filozófia azt nyerheti, hogy rábukkan a lét néhány olyan kapcsolatára, melyeket más úton nehezebben fedezhetne fel.”<sup>203</sup>

De semmilyen kiváltság, semmilyen elsőbbség, semmilyen végle-geesen meghatározott korlát nem szüntetheti meg megbízható módon a tudományos és filozófiai kérdésfeltevés különbségeit, hiszen nem is az azonosság és a behelyettesíthetőség kérdése a tét. Úgy gondoljuk, hogy itt a tudásanyagok egymást kiegészítő jellegéről van szó, amelyben mindkét esetben — többé-kevésbé szigorú szabályok szerint — az adott kultúra és kor égető kérdései jelennek meg. A kér-dés tehát a szabályokra, a módszerekre és a kényszerekre vonatkozik.

Könyvünkben megvizsgáltuk a tudományos kérdésfeltevés által-ránk kényszerített kötelmek némelyikét. Egyfelől a kísérletes pár-beszéd is korlátozza a tudós szabadságát: a tudós nem azt teszi, amit akar, a természet megcáfolja legcsábítóbb feltevéseit, legkidol-gozottabb elméleteit is. Többek között ebből fakad a tudomány lassú-sága a fogalmi továbbfejlődésben, és a szüntelenül meglévő kísértés arra, hogy a végletekig kivetítse a természettől kapott ritka és korlá-tozott jelentőségű „igen” válaszokat. Láttuk, hogy a pályák tudomá-nyának „diadala” előtt valójában egy olyan egyszerű akadály tornyo-sult, mint a háromtest-probléma. Másfelől egy újabb kényszer — mely éppen annyira termékeny volt, mint az első, csak később derült rá fény — volt annak tilalma, hogy elméletet építsenek elvileg megfi-gyelhetetlennek tekintett mennyiségekre. Ez érdekes fordulat volt. A



tudományos tevékenységet sokáig úgy határozták meg, mint a megfigyelőre való hivatkozás hiányát. Most azonban olyan hivatkozás került a definícióba, amely ettől fogva emberi nézőpontból meghaladhatatlan: hivatkozás az emberre vagy például a baktériumra, amely szintén lakója ennek a makroszkopikus világnak, s mozgása szintén feltáró tevékenység, hiszen feltételezi az időbeli tájékozódást és a környezet kémiai módosulására való megfordíthatatlan reagálás képességét. Tudományunk, melyet sokáig egy átfogó, semmitől sem függő nézőpont utáni kutatás határozott meg, végül mint valamire „irányuló” tudomány jelenik meg, leírásai tükrözik a fizikai világban elfoglalt helyzetünket.

Lehetséges, hogy a filozófiában kissé másként jelenik meg a helyzet. Szeretnénk ebből a szempontból mérleget vonni, és megkockáztatni egy hipotézist. Tanulmányunkban ihletet merítettünk bizonyos filozófusoktól. Néhányat közülük idéztünk is, korunkbelieket, mint Serres vagy Deleuze, de olyanokat is, akik már a filozófiatörténet részei, mint Lucretius, Leibniz, Bergson és Whitehead. Nem szeretnénk leegyszerűsíteni gondolataikat, de úgy véljük, hogy legalább egy közös vonás van azokban, akik segítségünkre voltak abban, hogy elgondolhassuk a tudomány fogalmi átváltozását és ennek következményeit, ez pedig nem más, mint hogy megkíséreltek úgy beszélni a világról, hogy ne kelljen megjelenniük a kanti ítélőszék előtt, hogy ne állítsák rendszerük középpontjába az intellektuális kategóriák által meghatározott emberi alanyt, s hogy ne vessék alá elképzeléseiket annak a kritériumnak, hogy mit gondolhat el a törvények értelmében ez az alany. Röviden: prekritikus vagy akritikus gondolkodókról van szó.

Korunk fizikája ráébredt arra, hogy irányult jellegű. E felfedezés átgondolásához olyan filozófusokból merítettünk, akik rendszerüket nem az ember mint alany köré építették fel. Miképpen értékelendő ez a tény? A hipotézis, amellyel elő szeretnénk hozakodni, a következő: a filozófusok esetében is kísérleti eljárással van dolgunk. Nem a természettel, hanem a fogalmakkal és kapcsolódásaikkal való kísérletezésről van szó, olyan kísérletezésről, amely a problémák felvetésének és következményeik lehető legszigorúbb kifejtésének művészetében jelenik meg.

Whitehead világosan kifejtette a filozófiai kísérletezésnek ezt a felfogását, mégpedig a kísérletezés szabadságfokával és saját kény-

szerűségeivel egyetemben. Ennek értelmében a filozófia nem folytatható ahhoz a stratégiához, amely megalapozza a tudomány kísérletes párbeszédét a természettel. Annak a választásnak a stratégiája ez, hogy mi a figyelemre méltó, és mi az elhanyagolható: „A filozófia saját hasznosságát semmisíti meg, amikor a tagadással való magyarázat ragyogó hőstettében tetszeleg.”<sup>204</sup>

Látható, hogy hipotézisünkben nem kell szembeállítanunk egymással a tudományos és filozófiai kísérletezést, mint ahogyan azt a tényleges és az elvont esetében tennénk. Sőt, Whitehead a visszajára fordította a szembeállítást, és a filozófiának adta azt a feladatot, hogy a fogalmak játékaival tényleges gazdagságukban hozza létre a valódi kísérleteket. Deleuze pedig az efféle filozófiai törekvéssel kapcsolatban még *empirizmust* is emleget. „Az empirizmus semmiképpen sem a fogalmak elleni dühödt kirohanás, nem is mesterkéletlen hivatkozási szándék a megélt tapasztalatra. Ellenkezőleg, eddig soha nem látott és hallott őrült fogalomalkotásra vállalkozik. Az empirizmus a fogalom miszticizmusa és matematizmusa. De a fogalmat éppen egy találkozás tárgyaként, mint egy itt-és-most-valót vagy inkább mint egy *Erewhont* (NB. Samuel Butler megalkotta utópikus hely, amely egyszerre van »itt és most« és »sehol«) kezeli, amelyből kiapadhatatlanul újabb és újabb, másképpen eloszló »itt«-ek és »most«-ok származnak. Csak az empirista mondhatja: a fogalmak maguk a dolgok, de a szabad és vad állapotukban lévő dolgok, túl az »antropológiai predikátumokon«. Fogalmaimat egy mozgásban lévő látóhatárból, egy olyan középpontból kiindulva alkotom meg, alkotom újra és bontom szét, amely egy állandóan áthelyeződő peremvidék szüntelenül középpontját veszítő középpontja, mely áthelyezi és tagolja őket.”<sup>205</sup> Az eleve megfigyelhetetlen *Erewhon*, amelyből az itt-és-most-ok származnak, a sokféle valóságos tapasztalat igen különös elképzelés a mi szemünkben, akik az elvileg nem megfigyelhető semmibe vételét az új felfedezések forrásának tettük meg. S mégis, bizonyos esetekben éppen a megfigyelhetetlen, a monászok, a clinamen, az örökkévaló tárgyak elgondolásával „előzték meg” egyes filozófusok a tudományt, jártak végére a fogalmaknak és következményeiknek, jóval azelőtt, hogy a tudomány használatba vehette volna őket, vagy felfedezte volna kényszerítő hatalmukat. Kétségkívül ez az ára annak a kockázatnak, amelyet azok fogadtak el, akik nem érték be azzal, hogy a képzelet hatalmát heurisztikus

módon aknázzák ki attól a céltől vezéreltetve, hogy kísérleti és elméleti feltevésekre bukkanjanak, hanem az egység és a pontosság kökémény követelményének megfelelően a feltevéseket a végletekig feszítik.

Itt is különösen hangsúlyoznunk kell a közös cél felé való haladást, amelyben megnyilvánul egy-egy kor kulturális egysége. Az idézett filozófusok, Deleuze kifejezésével élve,<sup>206</sup> megadták nekünk az eszközöket ahhoz, hogy „a tudományról áttérjünk az álomra és fordítva”, ugyanis ők azok, akik követik „a képzeletet, mely áthatja a részeket, a rendszereket és a szinteket, lebontja a válaszfalakat, azonos kiterjedésű a világgal, vezérli testünket és megihletli lelkünket, és hirdeti a természet és a szellem egységét”. De fordítva is, Deleuze a természethez és a természettudományokhoz folyamodik, amikor le akarja írni a képzelet erejét, és el akar kerülni bármiféle hivatkozást a hagyományos filozófia emberére, az tevékeny, tervezgető, szándékokkal és akarattal rendelkező alanyra. „A gondolat — írja — olyan lárvát csinál belőlünk, amely éppúgy megszülte az én azonosságát, mint az *Ego* hasonlóságát.”<sup>207</sup> Amikor a „dramatizációt”, azt a szörnyű pillanatot szeretnénk megérteni, amelyet az élet, aki saját gondolata zsákmányává válik, akiben egy gondolat megtestesül, gondoljunk csak a lárvára, amely (a szervezett, változatlan tevékenységbe bocsátkozó organizmussal ellentétben) képes elviselni rettenetes mozgásokat, nyomásokat, csuszamlásokat és forgásokat, vagy gondoljunk azokra a folyamatokra, amelyeket a természettudományok igyekeznek leírni. „A dramatizáció az álmodó fejében történik, de a tudós kritikus tekintete előtt is”,<sup>208</sup> a lélektani dramatizáció visszhangra talál a földtani, földrajzi, élettani, ökológiai folyamatokban, amelyek tereket hoznak létre, tájakat alakítanak és rombolnak le, szabályozzák a növekedési folyamatok, a szaporodás, a lassú eróziók és a hirtelen szétesések közötti vándorlásokat, versenyhelyzeteket vagy kölcsönös felerősődéseket.

## 7. A természet metamorfózisai

A mai tudományok metamorfózisa nem jelent szakadást. Ellenkezőleg, azt hisszük, hogy segít megérteni annak a régi tudásanyag, illetve gyakorlatoknak a jelentőségét és értelmét, amelyeket az automatizált technikai előállítás modelljét példaképpül választó tudományok

mányunk feledhetőnek tartott. Michel Serres például gyakran utalt arra a tiszteletre, amellyel a parasztek és a tengerészek viseltetnek az őket éltető világgal szemben. Ők igazán tudják, hogy az időjárásnak nem lehet parancsolni, és az élőlények növekedését, a görögök által *phüszisz*nek nevezett önérvényű átalakulási folyamatot nem lehet megbolygatni. Ebben az értelemben tudományunk idővel fizikai tudománnyá vált, mert végre-valahára elismerte a dolgok — és *nem csak az élő dolgok* — önérvényűségét. A Bevezetésben arról az „új természeti állapotról” beszéltünk, amelynek létezéséhez az emberi tevékenység is hozzájárul. A növények fejlődéséhez hasonlatosan, ennek a gépekkel és technikákkal benépesített új természetnek a fejlődése, a társadalmi és kulturális gyakorlatok fejlődése, a városok növekedése olyan folytonos és önérvényű folyamatok, amelyekbe természetesen be lehet avatkozni módosításuk vagy átszervezésük kedvéért, de — ha el akarjuk kerülni a kudarcot — tiszteletben kell tartanunk belső idejüket.<sup>209</sup> Az emberi és gépi populációk kölcsönhatásának problémájában és ennek vagy annak a gépnek a — viszonylag egyszerű és uralható — megszerkesztési problémájában nincs semmi közös. A technikai világ megértéséhez, melynek létrehozásában a klasszikus tudomány is részt vett, olyan fogalmakra van szükség, melyek igencsak különböznek e tudomány fogalmaitól.

Akkor, amikor a *phüszisz*ként értett természetet felfedezzük, azoknak a kérdéseknek az összetett voltát is kezdjük megérteni, amelyekkel a társadalomtudományok szembesülnek. Akkor, amikor elsajátítjuk azt a „tiszteletet”, amelyet a fizikai elmélet a természettel kapcsolatban ránk kényszerít, egyúttal meg kell tanulnunk tisztelni a többi szellemi megközelítést is, akár a tengerészek vagy a parasztek hagyományos megközelítéséről, akár más tudományok megközelítési módjairól van szó. Meg kell tanulnunk, hogy ne ítélkezzünk az emberi társadalmak által létrehozott ismeretek, gyakorlatok, kultúrák populációja fölött, hanem keresztezzük őket, eddig nem ismert, új kapcsolatokat valósítva meg közöttük, amelyek képessé tesznek bennünket arra, hogy vállalhassuk a szembesülést a korunk támasztotta példátlan követelményekkel.

Milyen ez a világ, amellyel kapcsolatban újra megtanultuk a tisztelet szükségességét? Egyformán megvizsgáltuk a klasszikus világ elképzelését és a XIX. század változó világát. Mindkét esetben az urolom volt a kérdés, és az a dualizmus, amely az ellenőrzést gya-

korlót szembeállítja az ellenőrzöttel, az uralmon levőt az alávetettel. Akár óra vagy motor a természet, akár a hozzánk vezető fejlődési út, állandó valóságot alkot, amelyről lehetséges megbizonyosodni. Mit mondhatunk világunkról, amely táptalaja volt a tudomány legújabb kori átváltozásának? Olyan világ ez, melyet természetiként érthetünk meg akkor, amikor megértjük, hogy mi is részei vagyunk, de ebből a világból ezzel el is tűntek a régi bizonyosságok. Akár zenéről vagy festészetről, akár irodalomról vagy erkölcsről van szó, immáron semmilyen modell nem tarthat igényt a törvényszerűsége, egyikük sem lehet többé kizárólagos. Mindenütt a többé-kevésbé kockázatos, tűnékeny vagy sikeres kísérletek sokféleségét tapasztaljuk.

Ez a világ, mely mintha lemondana a változatlan és állandó minták nyújtotta biztonságról, nyilvánvalóan veszélyes és bizonytalan világ. Nem kelthet bennünk semmiféle vak reményt, de azt a köztes reménykedést talán igen, amelyet a Talmud egyes szövegei — úgy tetszik — a Genezis Istenének tulajdonítanak: „Huszonhat kísérlet előzte meg a mostani genezist, s mind kudarccal végződött. Ezek romjaiból született meg az ember világa, ám az embernek sincs semmiféle biztosítéka a túlélésre: ő is ki van téve a kudarc és a semmibe való visszatérés kockázatának. »Bárcsak ez kitartana« — kiált fel Isten a világ megteremtésekor, és ez az óhaj végigkíséri a világ és az emberiség későbbi történetét, s a kezdetektől fogva felhívja a figyelmet arra, hogy ez a történet a gyökeres bizonytalanság jegyében zajlik.”<sup>210</sup>

Ez a kulturális közeg táplálja és erősíti fel nem is gyanított tárgyak, hatalmas energiájú kvazárok, bűvös fekete lyukak felfedezését, a földön pedig a természet által megvalósított kísérletek sokféleségének felfedezését, s végül a bizonytalanság, a szaporodás, a vándorlás, az összetetté válás problémáinak felfedezését. Ott, ahol a tudomány változatlan és békés állandóságot mutatott, most felismerjük, hogy semmilyen szerveződésre, semmilyen állandóságra — mint olyanra — nincs biztosíték, egyikük sem válhat uralkodóvá jogosan, mindegyiküket a körülmények hozták létre, és ki is vannak téve a körülmények szeszélyének.

Vagyis Jacques Monod-nak igaza volt, a régi animista szövetségnek bizony befellegzett, s vele vége mindazon szövetségeknek is, amelyekben önkéntes, tudatos, terveket kovácsoló alanyokként jelentünk meg, akiket változatlan azonosság és erősen megszilárdult

szokások zárnak magukba, akik egy számunkra létrehozott világ polgárai vagyunk. Vége annak a célra irányuló, változatlan és háborítatlan világnak, amelyet a kopernikuszi forradalom lerombolt, amikor a Földet kivetette a végtelen terekbe. De világunk nem is az „újkori szövetség” világa. Nem az a szótlan és egyhangú világ, amelyből kivesztek a régi varázslatok, nem az az óramű-világ, amely fölött hatalmat kaptunk. A természet nem számunkra készült, és nincs kiszolgáltatva akaratunknak. Ahogy Jacques Monod mondta, elérkezett az idő, hogy vállaljuk az emberiség kalandjának kockázatát, de ha ezt meg tudjuk tenni, ez azért van, mert ezentúl ezen a módon vesszük ki részünket a kulturális és természeti változásból, ez az a tanulság, amelyet a természet közöl velünk, ha odafigyelünk rá. Az ihletett, azaz természetfölötti megvilágosodásból származó tudományos ismeretanyag ma a természetre való „költői odafigyelésben” és a természetben zajló természeti folyamatként is megnyilvánulhat, mely fogékony az alkotásra és az újírtásra egy nyitott, teremtő és újító világban. Eljött az ideje az új szövetségeknek, amelyek mindig is összekötötték — ha sokáig nem vettek is tudomást róluk — az emberek, társadalmaik és tudásuk történelmét a természet felfedezésének kalandjával.

## Köszönetnyilvánítás

### *A nyugtalan idő*

Hálával gondolunk barátunkra, Léon Rosenfeldre, aki — amíg csak nem ragadta el a halál — segítségünkre volt, és bátorított bennünket azoknak a problémáknak a feldolgozására, amelyeknek tisztázásához oly sokban hozzájárult. Nagyon sokat köszönhetünk neki.

Számos említett és magyarázott kutatást brüsszeli és austini kollégáinkkal szoros együttműködésben végeztünk el.

A könyv első változatáról kikértük egyes barátaink megjegyzéseit és bírálatát. Mások igen értékes felvilágosításokkal és hivatkozásokkal voltak segítségünkre. Nem említhetjük itt meg mindazok nevét, akik hozzájárultak e könyv megszületéséhez, de szeretnénk hálánkról biztosítani őket.

Végül, a szerzők egyike a könyv megszületését lehetővé tevő kutatások folyamán egy ideig a Belga Országos Tudományos Kutatási Alap ösztöndíját élvezte.

A tudomány nem képes érintkezni, lemondással bele kell nyugodni. Felvettem, hogy a tudomány képes minden leírni, ami objektív valóságként létrejön: egyrészt az időbeli események leírja a fizika; másrészt az emberi tapasztalatok az idővel kapcsolatos sajátosságai — ideértve az ember eljárási magatartását a múlttal, a jelenrel és a jövővel szemben — leírhatók és (civilizált) megmagyarázhatók a pszichológia segítségével. Elismert azonban úgy gondolok, hogy ezek a tudományos leírások nem képesek kielégíteni az emberi szükségleteket, és van valami a Mással kapcsolatban, ami kívül esik a tudomány hatókörén.”<sup>211</sup>

Nyilván ugyanez a nyugtalanulás mutatkozik meg abban, ahogyan Gödel a Gödeli kormológiai modelljére reagált, amelyben a négy-





## I. Függelék

### *A nyugtalan idő*

Mi az idő? Könyvünk befejezésében említettük Einstein ítéletét a bergsoni idővel kapcsolatban, s meggyőződését, hogy a múlt, jelen és jövő közötti különbségtétel csupán makacs illúzió. Kielégítette-e valójában ez a — mégoly megalapozott — meggyőződés Einsteint, akinek követelményrendszere oly szigorú volt? Van egy érdekes tanúvallomásunk arról, hogy mit mondott egyik beszélgetőpartnérének — aki fenntartás nélkül hitt a tudomány bizonyosságaiban — az idővel kapcsolatos nyugtalanító gondolatairól. Carnap meséli, hogy Einstein egy napon elmondta neki, „mennyire foglalkoztatja a Most problémája. Elmagyarázta, hogy a Most megtapasztalása valami különlegeset jelent az ember számára, valami olyasmit, ami lényegileg különbözik a múlttól és a jövőtől, ám ennek a fontos különbségnek nincs és nem is lehet helye a fizikában. Szerinte abba a — fájdalmas, de kikerülhetetlen — ténybe, hogy ezt a tapasztalatot a tudomány nem képes értelmezni, lemondással bele kell nyugodnunk. Felvettem, hogy a tudomány képes mindent leírni, ami objektív valóságként létrejön: egyrészt az időbeli eseménysorokat leírja a fizika; másrészt az emberi tapasztalatoknak az idővel kapcsolatos sajátosságai — ideértve az ember eltérő magatartását a múlttal, a jellel és a jövővel szemben — leírhatók és (elvileg) megmagyarázhatók a pszichológia segítségével. Einstein azonban úgy gondolta, hogy ezek a tudományos leírások nem képesek kielégíteni az emberi szükségleteket, és van valami a Mosttal kapcsolatban, ami kívül esik a tudomány hatókörén”.<sup>211</sup>

Nyilván ugyanez a nyugtalanság mutatkozik meg abban, ahogyan Einstein Gödel kozmológiai modelljére reagált, amelyben a négy-

dimenziós pályáját a téridőben meghosszabbító megfigyelő végül újra beléphetne saját múltjába. Mint ahogyan Carnap azt hihette, hogy ugyanúgy gondolkodik az időről, mint Einstein, Gödel is nyilván azt gondolta, hogy az ő időn kívüli Világegyeteme elnyeri az általános relativitáselmélet atyjának jóváhagyását. Einstein azonban — miután kinyilvánította, hogy a múltba nem lehet csak úgy visszatelegrafálni — ezt írta: „Ebben a kérdésben a legfontosabb az, hogy egy jel útnak indítása termodinamikai értelemben megfordíthatatlan esemény, olyan folyamat, amely az entrópia növekedésével van kapcsolatban (míg jelenlegi ismereteink szerint minden elemi folyamat megfordítható)”.<sup>212</sup>

Az idő igazi értelme nem érhető el a tudomány számára; a termodinamika idejének megfordíthatatlansága pedig érvként szolgál egy kozmológiai probléma megoldásában: paradoxnak tetsző állásfoglalás Einstein részéről! Az idő „nyughatatlanságának” velejárója, hogy felborítja azokat a kategóriákat, amelyek segítségével megpróbáljuk csillapítani és megszüntetni. Ennek a nyughatatlanságnak a jeleivel az újkori fizika Clarke óta együtt él, aki Newton képviselőjeként megpróbálta Leibniz ellenében megvédeni azt az igényt, hogy az általunk elgondolt világban legyen helye az újnak, s az élet spontaneitása és az emberi szabadság értelmezhető legyen. A dinamikában megjelenő fogalomalkotási mód azonban túlnőtt legnevesebb szerzőjének meggyőződésén, és a newtoni rendszer harsogásában már nem ügyeltek a newtoni gondolatra. Ma lehetőségünk nyílik arra, hogy odafigyeljünk erre a nyughatatlanságra, s ebben a nyugtalanító jelzésben újra alkotóerőt lássunk.

A fizikai elméletek erejüket és gondolatébresztő voltukat annak a fogalmi tapasztalásnak köszönhetik, amelyet elvont formalizmusuk tesz lehetővé. Ezért játszanak oly nagy szerepet bennük azok a modellek, amelyekből kiindulva lehetőség nyílik újabb fogalmi társításokra és kipróbálásukra. Könyvünk IX. fejezete — *Az egyszerű és a bonyolult szintézise felé* — teljes egészében egy ilyen modellt tárgyalt: a „péktranszformációt”. Akkoriban a modell termékeny volta még éppen csak megmutatkozott. Most újra felvesszük a fonalat, hogy megmutassuk, azóta mi mindennek tette lehetővé a megértését.

Foglaljuk össze néhány sorban a péktranszformáció lényegét (16. ábra)! Ábrázoljuk egy négyzettel egy rendszer fázisterét: a négyzet

minden egyes pontja megfelel a rendszer egy-egy lehetséges állapotának. A szóban forgó rendszer mozgástörvényét az az alakzat határozza meg, amelyet az egyes transzformációk során a négyzet felvesz. Ezek a transzformációk a négyzet minden egyes pontját teljesen meghatározott módon mozdítják el: a négyzet előbb olyan téglalappá lapul, amelynek hossza a négyzet oldalának kétszerese, magassága pedig a fele, majd a téglalap két felének egymásra hajtásával újabb négyzet rajzolódik ki.

Ez a transzformáció nem tartozik a hamiltoni dinamika illetékeségi körébe, de osztja bizonyos főbb sajátosságait: ilyen a transzformáció egyértelműsége (a négyzet felülete megőrződik, két nem érintkező pontja pedig megtartja ezt a sajátosságát), valamint determinizmusa és megfordíthatósága (a fordított transzformáció minden pontot visszaállít eredeti helyére). Pontosabban — ahogyan megmutattuk —, a péktranszformáció olyan időbeli fejlődést mutat, mint amelyet az *instabil* dinamikai rendszereknél látunk: két, egymáshoz végtelenül közel eső pont — az egymást követő transzformációk révén — végül széttartóvá lesz; bármilyen kis tartomány egyes pontjai fokozatosan széteszlanak az egész fázistérben.

A péktranszformáció tehát szembesít bennünket a lényegi nehézséggel, amelyre megoldást kell találnunk. Az általa megjelenített változás a fázistér egy tartományát végtelen szétesztódásra készítheti ugyan (egy dinamikai transzformációban elveszteni formáját, és a 15. ábrán szemléltetett „szálás” alakot ölténé), de a tartomány összfelülete változatlan marad. Az időben vett változás lehet viharos, darabokra törhet és szerteséjjel szórhat mindent, amivel útján szembetalálkozik, ám ezek a darabkák nem tűnnek el, és láthatóan készen állnak arra, hogy helyreállítsák eredeti alakjukat, ha a transzformációkat fordított sorrendben alkalmazzák. Más szóval, az a formális nyelvezet, amelyet a péktranszformáció ábrázolására alkalmaztunk, s mely a pontok és helyváltoztatásaik leírásán alapszik, nem képes értelmezni a megfordíthatatlan változást. De mi a jelentése ebben a transzformációban a rendszer egy állapota és egy pont közötti megfelelésnek?

A péktranszformáció egészen elvontan az úgynevezett „Bernoulli-féle eltolással” reprezentálható, amelynek alapján a transzformáció eredménye az egyes pontokban — a két koordináta értékének transzformációja — egyszerű szabály segítségével megkapható a kiinduló

koordinátákból. A szabály egyszerű, de mivel a péktranszformáció kettőzi, majd felezi az alakzatot, a koordinátákat bináris alapon kell felírunk: minden egyes koordinátát egy nulla ábrázol (a négyzet oldalhossza egy), melyet tizedesjegyekként nullák és egyesek követnek. A tizedesvessző utáni első szám 0, ha a koordináta 0 és 0,5 közé esik, illetve 1 az ellenkező esetben. A második tizedesjegy ugyanabban az intervallumban helyezi el a koordinátát: 0, ha a koordináta 0 és 0,25 vagy 0,5... és 0,75 közé esik, s így tovább. (Megjegyezzük, hogy megtarthattuk volna a tízes alapú szokásos koordináta-jelölést, de ebben az esetben a transzformáció során a négyzetet 1:10 arányú téglalappá kellett volna lapítani, a négyzet visszaállításához pedig tíz kis téglalap egymás mellé helyezésére lett volna szükség<sup>213</sup>...) Ha a koordinátákat bináris alakban írjuk fel, az egy pontot megjelenítő két koordináta transzformációja gyerekjáték: a „nyújtást” jelképező koordinátát (melyet hagyományosan  $p$  mozgásmennyiségként definiálunk) képviselő számból egyszerűen kivesszük a tizedesvessző utáni első számjegyet, és betesszük a „zsugorítást” ábrázoló (hagyományosan a  $q$  helykoordinátával azonosított) koordináta tizedesvesszője utáni első helyre. Minden úgy történik, mintha a két szám meghatározása minden egyes transzformációkor eltolódna, mert az egyik szám első tizedesjegye a másik szám első tizedesjegyévé válik, míg az összes többi tizedesjegy hátrébb tolódik (a „nyújtási” koordináta esetében az  $s_n$   $n$ -edik tizedesjegy az  $s_{n-1}$   $n-1$ -edik tizedesjeggyé válik; a „zsugorítási” koordináta esetében  $s_n$   $s_{n+1}$  lesz).

A Bernoulli-féle eltolás világosan mutatja azt a problémát, amelyet egy instabil dinamikai rendszerben egy pont meghatározása jelent. Ha egy pontot (különösen „nyújtási” koordinátáját) sikerülne valóban végtelen pontossággal meghatározunk, az  $s_n$  sorozat végtelen hosszú lenne, és a tökéletesen determinisztikus pálya a tizedesjegyeknek a végtelenségig folytatódó eltolódását engedné. De ha a koordinátákat egy véges számú tizedesjegyet tartalmazó számmal határozzuk meg, az  $s_n$  sorozat is véges hosszúságú lesz. Adott számú transzformáció elvégzése után nem fogjuk ismerni a „nyújtási” koordináta tizedesjegyeinek értékét, melyek a tizedesvessző felé „tartanak”, majd átkerülnek a „zsugorodási” koordinátába. Tehát elegendően nagy számú transzformáció elvégzése (vagyis elegendően hosszú „idő” eltelte) után képtelenek leszünk megjósolni a pont pályáját.

A péktranszformáció pontokkal és pályákkal való ábrázolása tehát kimondatlanul is feltételezi a végtelen pontosságot a pontok meghatározásában. Ez azt a rendkívüli fogalmi nehézséget tükrözi, amelyet Pierre Duhem az elsők között hangsúlyozott:<sup>214</sup> „Egy matematikai levezetés a fizikus számára nem jár haszonnal, míg csupán annak kimondására szorítkozik, hogy ilyen és ilyen, *szigorúan* igaz állításból ilyen és ilyen másik állítás *szigorú* pontossága következik. Hogy a fizikus is használhassa, ahhoz azt is bizonyítania kell, hogy a második állítás akkor is *majdnem* pontos, amikor az első csak *majdnem* igaz.”

Idézzük még Duhemet, aki — az Hadamard által tanulmányozott „bikahomlok”-példából kiindulva — érzékletesen írja le az instabil dinamikai rendszerek problémáját: olyan rendszerek ezek, amelyekben a pályák (vagy geodéziai vonalak) lehetnek periodikusak (körüljárják a szarvakat vagy a füleket), vagy a végtelenbe távozóak (az egyik szarv vagy fül mentén). „Hiába növeljük a pontosságot a gyakorlati adatok meghatározásában, hiába kicsinyítjük le azt a területet, ahol az anyagi pont kiinduló helyzete található, hiába szűkítjük a sebesség kezdeti irányát mutató szöveget, a szarvtól — amely körül szüntelen forgómozgást végez — véges távolságra maradó geodéziai vonal semmiképpen nem választható el hűtlen társaitól, akik ugyanolyan forgó mozgások megtétele után ugyanazon szarv körül a végtelenbe tartanak. A kiinduló adatok rögzítésében megvalósított nagyobb pontosság egyetlen hatása, hogy a geodéziai vonalak kénytelenek több fordulatot leírni a jobb szarv körül, mielőtt a végtelenbe távoznának; ám ezt a végtelenbe vezető irányt soha nem lehet kiküszöbölni”.<sup>215</sup>

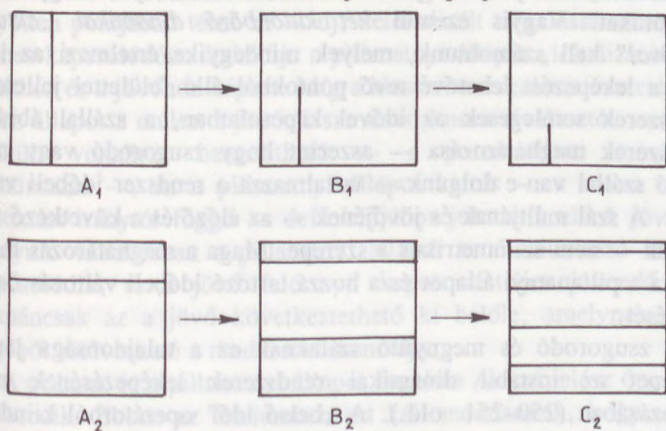
Duhem számára a matematikai levezetés „örök meddőségre” ítéltetett, mert a „majdnem” kifejezés bevezetése folytán elvesztette értelmét. A dinamikai leírás általunk javasolt transzformációja azt jelenti, hogy csatlakozunk ehhez az ítélethez, és az instabil dinamikai rendszerek esetében új típusú meghatározást — tehát levezetést is — javasolunk. Megoldásunk visszaadja lényegi jellemzőjét a fizika bármiféle matematikai leképezésének, és kellően ellenállóvá teszi a „majdnemmel” szemben. Nem lesz meglepő, hogy ez az új leképezés probabilista jellegű. Az instabil dinamikai rendszerek pontosan eleget tesznek a valószínűségek Poincaré által megfogalmazott alkalmazási feltételeinek: csekély okok is vezethetnek nagyarányú okozathoz.

Könyvünkben (IX. fejezet, 3. szakasz) bevezettük a belső kor fogalmát, mely olyan rendszert ír le, amelyet a péktranszformáció nem pontjai és pályái alapján alakít ki, hanem töredezettségi fokából kiindulva, amelyet az „alappartíciónak” nevezett vonatkoztatási helyzet alapján mérünk. Mint kiemeltük, ez a fajta ábrázolás ki-elégítő a statisztikai eloszlás változásának tanulmányozásában, mely annak valószínűségét jellemzi, hogy a vizsgált rendszert a négyzet ehhez vagy ahhoz a tartományához tartozó pontok jelenítik-e meg. Meghatároztunk egy „belső idő” operátort, amelynek az eloszlásfüggvényben volt szerepe, és a belső kor volt a megfelelő sajátértéke. Ebben az összefüggésben könnyen belátható, hogy a péktranszformáció statisztikai egyensúlyhoz vezet. Nagyszámú transzformáció végrehajtása után a kiindulási partíció kiterjed a négyzetre, és a rendszer reprezentatív pontjai a négyzet minden egyes — bármilyen kis — tartományában megtalálhatók.

Ez az első leképezés azonban még nem egyértelmű, mint ahogy egyébként maga a valószínűségfogalom sem az. A kiindulási partícióból végrehajtott fordított — a „múlt felé” haladó — transzformációk sorozata *szintén* elvezet a statisztikai egyensúlyhoz. Ez az oka annak, hogy a fizikai rendszerek leképezésének fogalmát alapvetően át kell értelmezni, hogy megtörje a múlt és a jövő között fennálló időszimetriát, s vele együtt a *megmaradás* fogalmának uralkodó szerepét a dinamikai változás megértésében. Meg fogunk tehát határozni egy olyan leképezési módot, melyet már nem a péktranszformáció egyoldalúsága szabályoz: amíg az utóbbi pontokra hat, melyeket más pontokba fordít át, az ezeket a pontokat tartalmazó felületek nem változnak (Liouville-tétel), még ha a végtelenségig töredeznek is.

A péktranszformáció — a klasszikus dinamika egyéb transzformációihoz hasonlóan — minden véges nagyságú felületet változatlanul megőriz. Jegyezzük meg, hogy a Liouville-tétel, amely kizárja egy entrópiafüggvény megalkotását a klasszikus módon meghatározott fázistérből kiindulva (198. old.), maga sem mentes a rendszerdefiníciójához szükséges véges pontosságból adódó fogalmi nehézségektől. Tegyük fel, hogy  $r$  méri a lehetséges felbontást ( $r$  tetszőszerinti kis értéket vehet fel), s tegyük fel azt is, hogy a fázistérnek az a tartománya, amely a rendszer reprezentatív pontjait tartalmazza, meghatározható egy olyan kis négyzettel, amelynek oldala  $r$  nagyság-

rendű. Alkalmazzuk a péktranszformációt! Az  $r$  oldalú négyzet  $2r$  hosszúságú és  $1/2 r$  magasságú téglalappá változik; erre a „zsugorított” magasságra nem vonatkozik a felbontás, s a téglalap magassága valójában  $r$  értéket vesz fel, azaz felülete megkettőződik. A felület eme növekedésének megfelel az a lehetőség, hogy meghatározható egy növekvő entrópia. Látható tehát, hogy a Liouville-tétel — amiként egy rendszer egyetlen ponttal való ábrázolása is — alkalmazási problémákat vet fel, mielőtt a rendszerről rendelkezésünkre álló információ véges természetét számításba vesszük. Olyan leképezési módot kell találnunk, amely egyaránt elkerüli a pont és a Liouville-tétel idealizációjának csapdáját.



26. ábra Zsugorodó szál ( $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  szakasz), illetve megnyúló szál ( $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$ ) a péktranszformációban.

Van egy mértani alakzat, melyre meghatározása folytán sem érvényes a felületek megmaradása, ami a péktranszformációt jellemzi. Ez a *vonál* (a vonal végtelen számú pontot tartalmaz, de felülete nulla). Nézzük meg a 26. ábrát! Egy kezdeti vízszintes vonal minden egyes transzformáció alkalmával megkettőződik, vagyis nagy számú transzformáció után elfedi a teljes négyzetet. „Megnyúló szálnak” fogjuk nevezni, míg annak a függőleges vonalnak, amely fokozatosan olyannyira összehúzódik, hogy kellően nagy számú transzformáció alkalmazása után egy pont felé tart, a „zsugorodó szál” nevet adjuk. A kiindulási feltételek nem felületek, hanem „szálak” formájában való megfogalmazása lehetővé teszi, hogy

„megkerüljük” a Liouville-tételben kifejezett alapvető megmaradási feltételt.

Másfelől a megnyúló és zsugorodó szálak segítségével, éppen abban a mértékben, amilyen mértékben már nincsenek alávetve a megmaradás fogalmának, értelmezhető az, amit a valószínűségek előfeltételeztek: az időszimmetria megtörése, a múlt és a jövő közötti ekvivalenciahiány. Egy (vízszintes) megnyúló szál lehetővé teszi, hogy olyan változás ábrázoljunk, mely a jövőben — de nem a múltban — az egyensúly felé tart (a fordított transzformációk összezsugorítják). Egy zsugorodó szál lehetővé teszi az olyan rendszerek ábrázolását, amelyek múltjuk felé haladva visszanyerik egyensúlyi állapotukat. Vagyis ezentúl két különböző dinamikai „aktualizációval” kell számolnunk, melyek mindegyike értelmezi az időt. Míg a leképezést lehetővé tevő pontokból álló felülettel jellemzett rendszerek semlegesek az idővel kapcsolatban, a szállal ábrázolt rendszerek meghatározása — aszerint hogy zsugorodó vagy megnyúló szállal van-e dolgunk — tartalmazza a rendszer időbeli változását. A szál múltjának és jövőjének — az előző és a következő állapotnak — nem szimmetrikus a szerepe. Maga a meghatározás tartalmazza a pillanatnyi állapot és a hozzá tartozó időbeli változás összefüggését.

A zsugorodó és megnyúló szálaknak ez a tulajdonsága játszik szerepet az instabil dinamikai rendszerek leképezésének megváltozásában (250–251. old.). A „belső idő” operátorból kiindulva megalkottunk egy  $\Lambda$  operátort, amely az instabil rendszert ábrázoló statisztikai eloszlási függvényt átalakítja egy újabb eloszlási függvénnyé.<sup>216</sup> Az utóbbi — az előbbitől eltérően — az idő iránya szerint két különböző mozgástörvénynek van alávetve. A megnyúló és zsugorodó szálak itt a leírás alapegységeivé válnak. Különösen: az egy pont kivételével mindenütt nulla értékű eloszlási függvény — vagyis amely megfelel a végtelenül pontos leírás eszményének — a zsugorodó szál egy darabkájává válik. A definíció értelmében a zsugorodó szál minden pontjára ugyanaz a sors vár, s ez a klasszikus meghatározás szerint az elszigetelt pont sorsa. Általánosabban, a  $\Lambda$  transzformáció a dinamikai rendszer delokalizációját jelenti, egy pálya átalakulását több pálya együttesévé, de ez nem okoz semmiféle információvesztést.



A dinamikai változás időszimmetriáját megtörő  $\Lambda$  transzformáció — eltérően a dinamika alapjául szolgáló megszokott transzformációktól — *nem* kanonikus transzformáció (lásd 69. old.). Minden kanonikus transzformáció tiszteletben tartja a Liouville-féle megmaradási elvet. A  $\Lambda$  nem kanonikus transzformáció viszont olyan dinamikai változást értelmel, amely nem csupán a rendszer reprezentatív pontjait szórja széjjel a teljes fázistérben, hanem amelynek köszönhetően — a megnyúló szálhoz hasonlatosan — az új eloszlási függvény elborítja a fázisteret. Mint láttuk, ez a nem kanonikus transzformáció a rendszer delokalizációját jelenti a fázistérben: a lokalizált eloszlást — mely a nullától csak a fázistér egyetlen pontjában térne el — új, delokalizált eloszlássá változtatja. Ehhez kapcsolódóan átalakítja a pillanatnyi állapot „lokalizációját” a múlthoz és a jövőhöz képest. Míg a klasszikus idealizáció szerint egy ilyen állapot a múltat a jövőtől szimmetrikusan elválasztó, vastagság nélküli vonalhoz hasonlítható — s potenciálisan mindkettőt tartalmazza —, itt a pillanatnyi állapot kettős — a hozzá tartozó változási iránytól függő — definíciójához jutottunk el. A jövő felé irányuló változásban a pillanatnyi állapot az őt létrehozó múlthoz kapcsolódik, és a jövő felé nyit kaput: a teljes jövőendő nem, csupáncsak az a jövő következtethető ki belőle, amelynek közel-ségéből kiolvasható a rendszer dinamikája.

A pillanat és a pillanatnyi állapot fogalma Arisztotelész óta összekeveredik. Ebben az értelemben azt kell mondanunk, hogy ugyanúgy, ahogyan az állapot meghatározásában benne foglaltatik az a változás, amelynek része, a „múlt emlékezeteként és a jövő kapujaként” felfogott pillanatban a tartam olyan fogalma jelenik meg, amely lényegi módon különbözik a hagyományos fizika „tengelyszerű” idejétől.

*Egy lényegi-belső módon megfordíthatatlan rendszer belső ideje a megnyúló szál irányában telik.* Ahhoz, hogy egy rendszer „lényegi-belső módon megfordíthatatlan” legyen, szükség van egy további feltételre. A zsugorodó és a megnyúló szál fogalmának bevezetése azt a látszatot keltheti, mintha az időszimmetria bennük kifejezett megtörése valóban két egyenértékű dinamikai aktualizációt jelentene. Ám a termodinamika második főtételeből az következik, hogy a „zsugorodó” szálak — melyek a rendszert az egyensúlytól végtelenül távolítják — valójában nem lehetségesek. Tehát a második főtétele a dina-

mikai értelmezésben a kezdeti feltételek szelekciós elvévé válik, és kizárja olyan rendszerek fizikai létezését és előállítását, amelyeket zsugorodó szállal lehetne ábrázolni.<sup>217</sup>

Visszatértünk-e ezzel ahhoz a tisztán tényszerű kizáró értelmezéshez, amely Boltzmann kudarcát is jelentette? Pusztán arról volna szó, hogy azon dinamikai változások osztályát, amelyek ellentmondanak a második főtételnek, csupán az ellentmondás miatt nem tekintjük lehetségesnek? Nem, mert most már lényegi jellemzését tudjuk adni a kizárt kezdeti feltételek osztályának. A lehetséges kiindulási állapotok és a kizárt állapotok között egy végtelen entrópiikus válaszfal emelkedik, s ezt a válaszfalat semmilyen technikai fejlődés vagy gondolat kísérlet nem tudja semmissé tenni. Valóban, bebizonyítható, hogy — ellentétben a megnyúló szállal — a zsugorodó szál végtelen mennyiségű információt vesz fel. Más szóval, míg egy megnyúló szállal leírható állapotú rendszer előkészítésére vonatkozó bizonytalanságtól függetlenül, ez a szál tovább tágul, addig egy zsugorodó szálnak megfelelő rendszer előkészítésével kapcsolatos, legkisebb bizonytalanság is elég ahhoz, hogy a szál „megnyúló” jelleget öltön, azaz olyan változást vonjon maga után, amely végső soron egyensúlyhoz vezet.

A péktranszformáció esetében a bizonyítás igen elvont lenne. Folyamodjunk inkább egy intuitív analógiához, s tekintsünk egy kemény gömbökből álló rendszert. Jegyezzük meg egyébként, hogy a péktranszformáció sajátosságai elvont sémáját alkotják a kemény gömbökből álló rendszer változási mechanizmusának. Egy pont minden egyes szakaszban két transzformáción eshet át. Az egyik folytonos, ha koordinátáit vízszintes irányban egyszerűen széthúzzuk, függőleges irányban pedig összenyomjuk. A másik nem-folytonos, ha a pont része az elsőre ráhelyezett második félnégyzetnek. Ugyanígy, egy kemény gömbökből álló rendszert csupán a gömbök (folytonos) mozgása, vagy egyes gömbök ütközése is pillanatra átalakíthat, ami megfelel a rendszer nem-folytonos állapot-változásának.

Analógiánkban értelmet nyer a megnyúló és a zsugorodó koordináta a megkülönböztetése, aminek a péktranszformációban nincs fizikai tartalma. Ez először is nyilvánvalóan megnyitja az utat azon ütközés leképezése előtt, amely értelmet ad a megnyúló és zsugorodó szálak által megvalósuló szimmetriatörésnek. Az ütközésnek ez a le-

képezése lehetővé teszi a különbségtételt az „előtt” és az „után” között. A különbségtétel formalizációja elvont, de intuitív értelme megadható. Már utaltunk a sebességek megfordításának problémájára, mellyel Boltzmannnak is meg kellett küzdenie (194–195. old.). Míg a „rendes” változás, mely a részecskéket az egyensúlyi állapot felé viszi, ahol a sebességek eloszlása megfelel a Maxwell-féle eloszlásnak, megengedi a molekuláris káosz — vagyis az ütközés előtt egymástól független részecskék — hipotézisét, ez már nem igaz a részecskék sebességének megfordulása után bekövetkező változásra, mely a rendszert távolítja az egyensúlytól. Ebben az esetben számításba kell venni azt is, hogy a részecskék már ütközéseik előtt *korrelálnak*: a statisztikai jóslások nem vehetik figyelembe ütközéseik hatását, hiszen azok csökkenő entrópiájú szinguláris változást indítanak be. Mindebből az adódik, hogy rendes, egyensúly felé tartó változás esetében az ütközéseknek kettős hatásuk van: egyrészt a részecskepopulációt jellemző sebességeloszlást az egyensúlyi eloszláshoz közelítik, másrészt a részecskék között korrelációkat hoznak létre. Ezeknek a korrelációknak rendes esetben semmilyen hatásuk nincs, de ha a sebességek megfordulnak, ezek fogják irányítani a rendszer változását, és olyan változást eredményeznek, amely a sebességeloszlást eltávolítja a Maxwell-féle eloszlástól.

Arra látunk itt példát, hogy mit is jelent egy olyan rendszer állapotának leképezése, amely az utóbbit integrálja saját jövődjébe. Klasszikus nézőpontból nincs semmilyen alapvető különbség egy állapot és egy olyan második állapot között, mely az előbbi állapot részecskéi sebességeinek egyidejű megfordításából származik. A szimmetriát megtörő leképezésben a két állapot teljesen különbözik. Az egyik olyan változás részese, melyben nem korreláló részecskék ütköznek egymással, és hoznak létre korrelációkat, a második esetben pedig korreláló részecskék ütköznek, megsemmisítve „ütközés előtti” korrelációikat. Az utóbbi esetben a sebességeloszlás távolodik az egyensúlyi eloszlástól. Tehát az idő folyásának iránya egyszerűen értelmezhető: az az irány, amelyben az ütközések korrelációkba rendeződnek, s nem a fordítottja. Természetesen a második főtétel általunk adott meghatározása — a kezdeti feltételek szelekciós elve — nem zárja ki azokat a változásokat, amelyek a korrelációkat ütközésekké alakítják. Mellesleg ezek a változások numerikus szimuláció útján vagy laboratóriumban (spinviszhang)

létrehozhatók. Ami kizárt, az a korreláló részecskékből álló rendszer oly módon történő előkészítése, hogy a változás *végtelenül*, és nem véges időtartamig távolítsa az egyensúlytól. Egy ilyen állapotnak megfelel a zsugorodó szál képe, mely végtelen információmennyiséget jelent. A legkisebb pontatlanság, egy mégoly jelentéktelen tizedesjegy elnézése a numerikus szimuláció során (mely meghatározása értelmében véges számú tizedesjegyet vesz figyelembe) elég ahhoz, hogy a rendszer hosszú távon visszatérjen a rendes változás útjára, amely elvezeti az egyensúlyhoz.

Tehát a második főtételel szelekciós elvként való meghatározása azt jelenti, hogy lemondunk a klasszikus nézőpont egyik előfeltételéről: a folyamat kezdeti feltételeinek önkényes jellegéről. A megtört szimmetriájú leképezésben minden egyes kiindulási feltételhez olyan mennyiségű információ társul, amely nem a megismeréséhez igénybe vett eszközöktől, hanem először is a rendszer belső-lényegi dinamikájától függ. Ennek a dinamikának az instabil jellege megkérdőjelezte azt az idealizációt, amelyet egy rendszernek a fázistérben vett ponttal való leképezése jelentett. Ugyanez a jelleg fejeződik ki a zsugorodó szálakkal ábrázolható állapotok kizárásában. Mint ahogy nem tudunk egy rendszert igazán végtelen pontossággal leírni, ugyanúgy nem is vagyunk képesek ellenőrizni oly mértékben, hogy meghatározhassuk bizonyos típusú korrelációk létrejöttét, azokét, amelyek egy elszigetelt rendszert folyamatosan távol tartanának az egyensúlytól. Másfelől kimutatható, hogy egy rendszeren belül soha nem jönnek létre spontán módon ilyen korrelációk; egy dinamikai folyamat soha nem hoz létre a termodinamika második főtétele által kizárt állapotot. Az ilyen állapotok kizárása nem vezethető le a dinamikából, de a dinamika hozza létre.

A termodinamika második főtételeének mindig is az volt a jelentése, hogy a különböző típusú változások nem egyenértékűek, de kétértelműség volt abban a tekintetben, hogy ez a nem-egyenértékűség vajon megismerőképességünk határait, avagy a vizsgált tárgy belső-lényegi tulajdonságát tükrözi-e. A stabil rendszerek idealizációjára épülő dinamika perspektívája nem engedett semmilyen kibúvót. A nem-egyenértékűség csakis tőlünk származhatott. A termodinamika második — a kezdeti feltételek szelekciós elveként értelmezett — főtétele nem vezethető le a dinamikából. Szükség van egy alapfeltételre, a dinamikai rendszer stabilitására, valamint egy másodlagos

feltételre is, amely nem más, mint bizonyos típusú kezdeti feltételek kizárása. Ez a másodlagos feltétel azonban nem idegen a dinamikától, hanem — most már a dinamika formalizmusában is megjelenő — lényegi különbségtételt fejez ki a kezdeti feltételek között. Tehát a második főtétel a nem-egyenértékűségben gyökeredzik, amely viszont — a kezdeti feltételek között — tisztán dinamikai természetű.

Természetesen ebben a nem-egyenértékűségben van valami megdöbbentő, sőt botrányos ahhoz képest, amihez a klasszikus dinamika hozzászoktatott bennünket: ráadásul kezdeteitől fogva, azóta, hogy Leibniz szerint a világot teremtő Isten szabadságát egyedül önnön jósága korlátozza, aminek következtében Isten „előkészíthette” a lehetséges világok legjobbját. Az a gondolat, hogy egy rendszer kezdeti feltételei nincsenek semmilyen különös kényszernek alávetve, vagy másképpen, egy „kellően előkészített” rendszer a fázistér bármely tartományát bejárhatja, önmagában véve is azt jelentette, hogy a folyamat az állapotnak, az „átalakulás” a „létezésnek” vettetik alá. Itt újfent a teljes ellenőrizhetőség és az időtlenség összekapcsolásának régi gondolatával, a jövendőnek a jelen állapotra való redukálásával találkozunk. A filozófusok sokat vitakoztak arról, hogy mi az elsődleges: a megismerő alanynak alávetett, uralható világ gondolati felépítése — melyből a változás kiküszöbölése következik —, vagy a változás kiküszöbölésének vágya. Mindenesetre, a dinamika lényegibelső módon egyesítette az ellenőrizhetőséget és a változás kiküszöbölését. Minden újabb lépés a „pontosság eme univerzumának” megismerésében — így például a gravitációs és a tehetetlen tömegek szigorú azonosságának igazolása — újabb bizonyítéka volt az egyesítés jogosságának. S fordítva, az a dinamika, amely ma a folyamatok világát értelmezi, elkerülhetetlenül különbségtételt jelent aközött, amire a dinamika megalapozóinak szellemében elképzelt ellenőrizhetőség nem terjed ki, és a neki alávetett világ között.

Ezzel összefüggésben a dinamika ideális értelmezési modellje is megváltozik. A hagyományos eszmény perspektívája a mérések pontosságának állandó technikai tökéletesítését jelentette, aminek értelmében végtelenül közelednénk a számítgató démon — a világ objektív igazságának letéteményese — jelképezte állapothoz. Márpedig a második főtételből most már következő lehetetlenség nem olyan természetű, hogy azt bármiféle fejlődés semmissé tehetné. Nem

a technika történelmi állapotához kötött, hanem a mennyiségi leírás és a befolyásolás lényegi jellemzőihez. Minden mennyiségi leírás — természetéből adódóan — közelítő jellegű. Minden beavatkozás véges mennyiségű információt használ fel. A tudományt mint a természetre való „költői odafigyelést” aposztrofáltuk; a költői jelző nem a végesből a végtelenbe való ugrást lehetővé tevő ösztökélésre vonatkozott, hanem a leírásra, a számításokra, a befolyásolásra mint a gyakorlat elemeire. Tehát igenis a „költői” odafigyelés kényszereiről van itt szó, „költői” abban az értelemben, hogy ezek a kényszerek ezentúl tudományos elméleteink középpontjában találhatók.

Kényszereket mondunk, mert nem valamely általános értelemben vett határvonal elismeréséről van szó, amelynek csupán olyan általános következményei lehetnének, amelyek maguk minden egyes tudományos kijelentésre vonatkoznának. Ezzel ellentétben, a kényszerek csak specifikus helyzetekben van értelme, csak akkor származik belőle értelem. Erre utalt Niels Bohr is, amikor kimutatta, hogy a helyzet és a mozgásmennyiség mérése általában logikailag elentmondó követelményeket támaszt, de ez az általános ellentmondás csak kvantumfizikai szinten válik értelmet szülő kényszerré, ott, ahol  $h$  állandó léte szembesül a tárgy és a mérőeszköz közötti elhanyagolható kölcsönhatás ideáljával. A kvantum tehát *időszerűvé tette* a logikai problémát. Ugyanígy, ha a stabilitás szabály lett volna a dinamikai rendszerekre nézve, ha az inga valóban e rendszerek reprezentatív modellje lett volna, a mennyiségi leírások lényegi határai által felvetett probléma nem vált volna időszerűvé. Ebben az esetben a megfordíthatóként és determinisztikusként meghatározott dinamikai viselkedés és a dinamikai állapot — a rendszer múltbeli és jövőbeli változásait egyaránt tartalmazó — fogalmát tekintve egyetlen általános megállapítás lenne érvényes. A dinamikai instabilitás, mely az ingát megfosztja reprezentatív rendszer státusától, és megteszi egy általánosabb leírás szinguláris határesetének, lényegi-belső módon értelmezi a leírást és a beavatkozást meghatározó határvonalakat. S ez a kényszer maga is értelmet hoz létre, mert lehetővé teszi olyan lényegi-belső különbségek kifejezését, melyeket a klasszikus idealizáció elleplezett.

Az idő nyughatatlansága az emberi gyakorlat egyetlen területétől sem idegen. Kétségtelen, hogy azokban a fizikusokban is ez munkált, akik kidolgozták a megbékélt, a pillanatnyi állapotból pillanatnyi

állapotba való rendszeres átmenetek által szabályozott idő elképzelését, akárcsak azoknál, akik az egyhangú átmenetek örökkévalóságának nevében elfogadták a fizikának ezt a megállapítását, a megfigyelhető és megjósolhatatlan, újdonságokat szülő világnak ezt a tagadását. Miért is ne ismernénk el a szépségét ennek az elképzelésnek, amely továbbra is jelen van mindmennyi fizikus eszmevilágában? Miért is ne értenénk meg az ellenállást, amelyet egy ilyen eszmény elvetésére való felszólítás kivált? Ám a bizonytalanság nem hagyta, hogy elfeledkezzenek róla. Tünetei a fizika története során szüntelenül napirendre kerültek a második főtétel kérdésével kapcsolatban. Vajon képes lesz-e a közeljövőben módosítani akár a fizika alapjait is? Ma még senki nem adhat erre a kérdésre biztos választ, hiszen az csak hosszú elméleti és kísérletező munka eredménye lehet. De már most is képesek vagyunk megmondani, hogy mi lehet a tétje. Mi ezt a tétet technikai oldalról közelítettük meg: meghatároztuk azt a transzformációt, amely megtöri a Liouville-tétel egyeduralmát, vagyis amely a fizikai változás felfogását megszabadítja a megmaradás és az azonosság kategóriáitól. Ez az első lépés ama transzformációk világa felé, amelyek már nincsenek alávetve az egymás közötti ekvivalencia törvényének. Az is meglehet, hogy a folyamatoknak ez a világa nem különbözik lényegesen attól a „kémiai” világtól, amelyet a XVIII. század materialistái a mechanikusok akkor uralkodó világelképzelésével szembeállítottak. Nyughatatlan világ ez abban az értelemben, hogy semmilyen tudás nem adhat róla egységes elmélettel számot, de nem ellenkezik a bennünk lakozó idő nyughatatlanságával.





## II. Függelék

### *A természettel folytatott párbeszéd új útjain*

Egyik híres írásában Freud arról a drámáról beszél, amely az emberi „megalomániát” sújtotta három tudományos felfedezés formájában: a Világegyetem központjának tekintett Föld elveszítette kitüntetett helyzetét, és jelentéktelen bolygóvá süllyedt; a teremtés királyának tekintett ember egy lett az állatok közül, s a főemlős majmok rokonaként ismert magára; végül pedig a tudatalatti elmélete az ént is megfosztotta előkelő státusától. Ezek az események megfordíthatatlanok, bár jelentésük változhat. A veszteség uralkodó érte-  
tének helyébe léphet a kíváncsiság, az a kutató szenvedély, amelyet nem gátol többé a túlságosan is megnyugtató bizonyosság.

Itt csupán néhány észrevételt tehetünk azon kérdések kapcsán, amelyek megújítják és megsokasítják a természettel folytatott párbeszéd útjait. Ezekben az észrevételekben megkíséreljük annak bemutatását, hogy a tudomány ma már képes megszabadulni a Freud által leírt felfedezésekhez tapadó elképzeléstől, mely szerint a Föld *csupán* egy bolygó a többi közül, az ember *csupán* állat, az én pedig *csupán* a pszichikai élet egyik, részleges és illúziókkal terhes dimenziója.<sup>218</sup>

A *csupán* szócska mindig is a redukcionista retorika eszköze volt. A természettel folytatott párbeszéd új útjainak megmutatásával szeretnénk bebizonyítani, hogy ez a retorika ma már nem léphet fel a tudományosság igényével.

A klasszikus perspektívában éles különbség volt aközött, ami egyszerűnek volt tekinthető, és aközött, amit bonyolultnak kellett elismerni. A newtoni törvényeket habozás nélkül „egyszerűnek” nyilvánították, akárcsak a tökéletes gázok viselkedését vagy a vegyi reak-

ciókat; bonyolultságot emlegettek az élőlények és természetesen az emberi tevékenység kapcsán. Ebben a perspektívában a szándék nyilvánvalóan arra irányult, hogy megtudják, vajon — legalább elvben — ez a bonyolultság „redukálható-e” a benne rejlő egyszerű viselkedésekre. A választást — úgy látszott — nem lehet megkerülni: a „bonyolultság” vagy új, elemezhetetlen tulajdonságok megjelenésében nyilvánul meg, vagy éppen fordítva, egyszerűbb folyamatok összekapcsolódására redukálható. Ez az összekapcsolódás természetesen összetett valami, de lényegileg nem különbözik az egyszerűként meghatározott folyamattól.

Felesleges sokat beszélni ennek az alternatívának a káros jellegeről, a belőle merítő megcáfolhatatlan ítéletekről mind azok részéről, akik belekapaszkodtak egy bonyolult viselkedés legjelentéktelenebb analitikus megközelítésébe is, hogy fenn hirdessék annak a redukciós műveletnek a sikeres voltát, amellyel ezt az analízist azonosították, mind azok részéről, akik azt vetették ellen, hogy az analitikus megközelítés — természetéből adódóan — sohasem lesz képes megérteni az „életet”, a „szellemet”, a „társadalmat”.

Könyvünk előszavában bemutattuk, hogy immár definiálható egy olyan „belső-lényegi bonyolultság”, amely túlesik ezen az alternatíván annyiban, hogy nem nagyszámú egyszerű tényező összekapcsolódásáról ad számot, és nem is érhető az analitikus megközelítés szemszögéből. Most kifejtsük a bemutatott példát, egy — megfigyelhető tényezők időbeni, véletlenszerűként megjelenő sorozatában részt vevő — dinamikai rendszer „feltámadását”.

Rögtön szögezzük le, hogy ezt a dinamikai rendszert nem azonosítani szeretnénk olyan értelemben, hogy leírjuk változóit, és felírjuk egyenleteit, hanem minőségi jellemzést szeretnénk róla adni.

Abban az esetben, ha a megfigyelhető mennyiségek egy sorozata alapján a fázistér egy résztartománya felé tartó folyamatra következtethetünk — mely a rendszert „foglal” ejti, és melyben a rendszer csakis jól meghatározott periódusú és amplitúdójú periodikus viselkedést mutat —, a helyzet egyszerű: tudható, hogy „határciklus” jellegű (lásd 150. old.) attraktorhoz vezető egyenletrendszerrel van dolgunk, és a ciklus dimenzionalitásából levezethető a szóban forgó egyenletrendszer változóinak minimális száma.

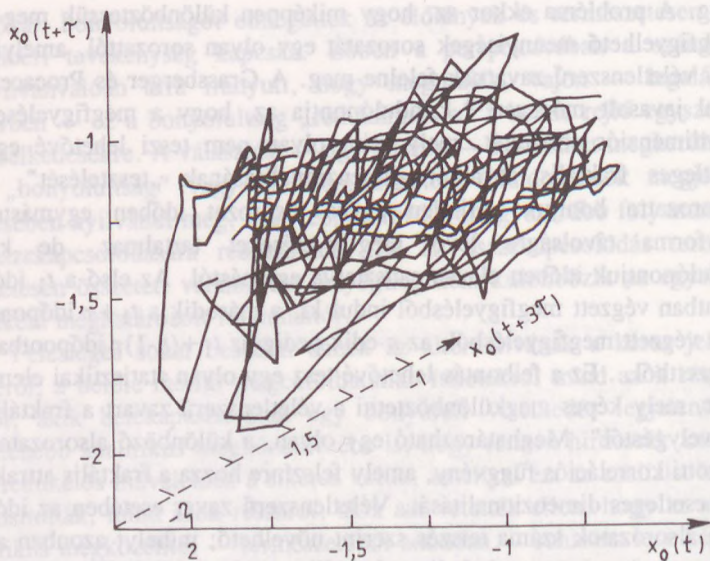
A helyzet nyilvánvalóan bonyolultabb azoknak a dinamikai rendszereknek az esetében, amelyeknek „fraktális” attraktorok felelnek

meg. A probléma ekkor az, hogy miképpen különböztessük meg a megfigyelhető mennyiségek sorozatát egy olyan sorozattól, amelyik egy véletlenszerű zavarnak felelne meg. A Grassberger és Procaccia által javasolt módszer<sup>219</sup> kiindulópontja az, hogy a megfigyelések egydimenziós sorozatát, mely mint olyan nem teszi lehetővé egy esetleges fraktális attraktor dimenzionalitásának „tesztelését”,  $n$  alsorozatra bontjuk. Minden egyes alsorozat időben egymástól egyforma távolságra levő megfigyeléseket tartalmaz, de kiindulópontjuk időben el van csúsztatva egymástól. Az első a  $t_1$  időpontban végzett megfigyelésből indul ki, a második a  $t_1 + \tau$  időpontban végzett megfigyelésből, az  $n$ -edik pedig az  $t_1 + (n-1)\tau$  időpontban végzettből... Ez a felbontás lehetővé tesz egy olyan statisztikai elemzést, mely képes megkülönböztetni a véletlenszerű zavart a fraktális „tévelygéstől”. Meghatározható egy olyan, a különböző alsorozatok közötti korrelációs függvény, amely felszínre hozza a fraktális attraktor esetleges dimenzionalitását. Véletlenszerű zavar esetében az időbeli alsorozatok száma tetszés szerint növelhető; mihelyt azonban az alsorozatok száma meghaladja a fraktális attraktor (tört) dimenzióját, a statisztikai korrelációk minőségi változáson esnek át. Ez a tört dimenzió tehát azonosítható, és levezethető belőle a fraktális attraktort létrehozó dinamikai rendszer változóinak minimális száma: e szám a tört dimenziót közvetlenül meghaladó egész szám lesz.

A statisztikai elemzés ezzel összefüggésben lehetővé teszi a „Ljapunov-kitevő” meghatározását, amely a mozgás instabilitását jellemzi — azaz a hasonló helyzetekből induló folyamatok divergenciáját méri —, s így lehetővé teszi, hogy megbecsüljük a dinamikai rendszer által meghatározott folyamatok előrejelzésének határait.

Ezt a módszert alkalmazták az utóbbi egymillió év alatt végbe ment éghajlati változások problémájára. Ezekre a változásokra a Csendes-óceán egyenlítői zónájából származó üledékek oxigénizotópmennyiségéből következtettek. A mérések alapján megalkottak egy körülbelül 500 adatot tartalmazó sorozatot. Az attraktor dimenziója kb. 3,1, ami azt jelenti, hogy a rendszer egyenletei legalább négy változót tartalmaznak. Az előrejelezhetőség határa huszonöt- és negyvenezer év között húzódik<sup>220</sup> (lásd a 27. ábrát is).

Tehát bonyolultság és egyszerűség itt már nem állnak szemben egymással, hanem egyedülálló módon összekapcsolódnak, ami lehetővé teszi a hosszú távú meteorológiai változások megértését. Azt is



27. ábra Az éghajlati attraktor ábrázolása a háromdimenziós térben,  $\tau$  és  $3\tau$  eltéréssel. Az ábrázolás mintegy 500 adaton alapul, melyek a Louvaini Egyetem adatbankjából származnak.  $\tau$  eltérés értéke 2000 év.

gondolhatnánk, hogy ez a típusú változás annak a viselkedésnek a tipikus esete, amely nagyszámú rejtett tényező — rejtett változók — összjátékára redukálható. Márpedig minden jel szerint — s ez eléggé váratlan — csupán négy változó van jelen. Ám ez a négy változó oly módon kapcsolódik össze, hogy semmilyen — bármily részletes — elemzés sem képes a jelenséget megfosztani alapvetően megjósolhatatlan jellegétől, azaz jelen esetben a határ huszoneezer és negyvenezer év között húzódik (ami a szóban forgó változások léptékéhez képest nem jelentős). Úgy látszik, más légköri jelenségek — mint például az éghajlat éves módosulásai a mérsékelt égövben — is hasonló technikával tanulmányozhatók. A közeljövőben növekvő számú jelenség kapcsán leszünk képesek megjelölni a lényeges kérdéseket, megvonni az elemzés és az előrejelezhetőség határait.

Tehát a bonyolultság itt az instabilitáshoz kapcsolódik. Nagyon is váratlanul, elválasztja egymástól a jelenség megérthetőségét és a előrejelezhetőségre való képességet. A különös, illetve fraktális attraktorok felfedezése, majd felhasználásuk a megfigyelhető jelen-

ségek kutatásában annak érdekében, hogy a jelenségszinten véletlenszerű megfigyeléssorozatok közül kiválaszthassuk azokat, amelyeket egy viszonylag egyszerű determinisztikus dinamikai rendszer hozhat létre, kiválóan szemlélteti a tudományos párbeszéd alkotó jellegét. Előfordult, hogy a matematika szerepét ebben a párbeszédben kétségbe vonták: a matematika ezek szerint a törvények, szabályosságok, a reprodukálható és uralható képzelet felkutatására korlátozódna. Ám láthattuk, hogy a matematika az alkotó jelleg lényeges összetevője. Hogyan lehetne nélküle felfogni a előrejelezhetetlenség előrejelzésének különös fogalmát? A matematika szigora nemhogy rabságban tartaná a gondolatot, hanem inkább bátorítja és készíti a természetnek felteendő kérdések megfogalmazására.

Ezt látta előre Jean Perrin abban a szinte profetikus írásában, amelyben megelőlegezte a fraktálok matematikája és az általa lehetővé tett érthetőségi modell jövőjét.<sup>221</sup> Igaz, hogy — mint ahogyan a *Les Atomes*-ban — a tudósok előbb az olyan rendszeres jelenségek megértésére törekedtek, amelyek lehetővé teszik, hogy törvényeket fogalmazzunk meg, amelyekre azután az előrejelzés és a beavatkozás építhető. De a matematikusok voltak az elsők, akik elszakadtak ezektől a gyakorlatias leképezésektől, és akik megértették, hogy a szabályos — minden egyes pontban deriválható — görbék valójában csupán kivételes esetetek. Perrin szerint a matematikusokat saját logikájuk már a fizikusok előtt annak felismerésére vezette, hogy megvonják a szabályos és megjósolható valóság megnyugtató leképezésének határait. Valójában elfeledkeztünk arról, hogy a *Les Atomes* tételei — melyek igencsak megmozgatták a XX. század elejének tudományos közvéleményét — egyáltalán nem redukcionista: Perrin a zsidó, történésekkel teli, szüntelen mozgásban lévő valóság nevében a szabályszerű törvény fogalmát kérdőjelezte meg. Ezt a megkérdőjelezést a kvantumfizikai „törvények” felfedezése kétségkívül homályba börtötta, de ma újra időszerűvé vált.

Az olyan szabályszerű törvények utáni kutatás, amelyek lehetővé teszik a jelenségek egy részének előrejelezhetőséget, nem csupán a fizika sajátossága. Olyan eszmény ez, mely a fizikát modelljeül választó tudományok mindegyike előtt ott lebegett. Ennyiben a fizikai-kémiai világgal folytatott tudományos párbeszéd eme új szakaszának lehetnek olyan következményei is, melyek jóval túlterjednek az egyes tudományszakok határain.

A felvilágosodás korától kezdve az emberek és a társadalom viselkedését szabályozó „természettörvények” keresése arra készítette azokat, akik később a gazdaság- és társadalomtudományok megalapozóivá váltak, hogy módszereiket a klasszikus fizika módszeréről másolják. Úgy látszott, ez az egyetlen módja annak, hogy „tudományos”, elvileg értékmentes elemzéseket végezhessenek. Az eredményeket, melyek az „objektív módszereknek” voltak köszönhetőek, a tudomány dicsfénye övezte.

Ezek az eszmék ma is élnek. Például a piac fogalma — mely napjainkban a gazdasági intézményekben testesül meg — nemcsak azzal az igénnyel lép fel, hogy összeköttetést teremtsen a gazdasági élet ma valóban működő formájával, hanem azzal is, hogy elvi működését is megszabja. Ennek érdekében — mint tudjuk — olyan hipotéziseket kényszerül felállítani, amelyek a szereplőket (vásárlókat és eladókat) lényegileg olyan egységként kezeli, amelyek viselkedését összefüggő viszonyrendszer szabályozza. Nem fogunk itt belemélyedni abba, hogy mit is jelent a neoklasszikus gazdaságelméletben a „homo oeconomicus” fogalma, de annyit megjegyezzünk, hogy egyes vonásainak (különösen annak a hipotézisnek, hogy a lehetőségek „kiszámítása” a „haszonnévelvény” révén valósul meg, mely egyesíti a választás pillanatában rendelkezésre álló összes lényeges információt) csupán az a célja, hogy lehetővé tegyék a matematikai módszerek, vagyis a racionális mechanika alkalmazását.

Másfelől tudjuk, hogy azok a kísérletek, amelyek azt célozták, hogy a gazdaság szereplőinek magatartását valóságosabbá tegyék — így például felruházták őket az előrelátás, vagyis a jövő számításba vételének képességével —, remek matematikai elgondolásokat eredményeztek ugyan, de ezek az elgondolások maguk után vonták a gazdasági rendszer szabályos és megjósolható viselkedésének mint eszménynek a megsemmisülését. A „gazdasági törvény” fogalma maga is átalakult, s — igencsak viszonylagos — érvényessége azon intézmények szándékától függ, amelyek megpróbálják szabályozni a folyamatokat, stabilizálni a működési rendet, s csillapítani az instabilizáló fluktuációk hatását.

A gazdasági törvények létébe vetett bizalom, a „tisztán gazdasági” működésre — mely akadály nélkül „hatna” mindaddig, míg az adott helyzet az e törvények által meghatározott optimumot el nem éri — való hivatkozás látszólag megfelel a Galileivel kezdődő tudományos

eljárásmódnak. Galilei habozás nélkül elvetette a súrlódást annak érdekében, hogy meg tudja magyarázni a testek zuhanásának lényegét. A fizikai-kémiai folyamatokat Carnot és Clausius úgyszintén a megfordítható hőcsere racionális eszményének nevében ítélték meg. Mint említettük, ez az eljárásmód nem módszer, hanem fogadás. A Galilei által leírt mozgások mintha valóban lehetővé tennék a egyszerűsítést; a súrlódás figyelembevétele bonyolítja az egyenleteket, megváltoztatja formájukat, de nem zárja ki lehetőségüket. Ám ha elhanyagoljuk a fizikai-kémiai folyamatok lényegi-belső megfordíthatatlanságát, valamint a valóságos emberi viselkedések és a „homo oeconomicus” közti különbséget, ez *megalapozza* az egyensúlyi termodinamika egyenleteinek és a racionális gazdaságtannak a *lehetőségét*. Ebben az esetben a manapság megkérdőjelezett megérthetőségi eszmény — a szabályszerű törvények keresése — fogja igazolni, hogy másodlagosnak tekintjük azt, aminek a kiküszöbölése lehetővé teszi az efféle törvények létét.

A fizika és a kémia példája a XVIII. század óta jó volt arra, hogy igazolják vele a megérthetőségnek és a törvények felfedezésének azonosítását. Ezzel összefüggésben arra is felhasználták, hogy természetes és elkerülhetetlen tényként mutassák be azt, hogy az egyed alá van vetve a globális törvényeknek, s hogy az emberi kezdeményezések épp annyira képtelenek befolyásolni ezeket, mint amennyire az egyensúlyi gázállapotot szüntelenül megzavaró jelentéktelen fluktuációk képtelenek módosítani a tökéletes gázok törvényét. Ha ma is a fizika és a kémia példáját vesszük alapul, s ha az e tudományokban kibontakozó új típusú kísérleti párbeszédből indulunk ki, kétségkívül szembe kell néznünk azzal a veszéllyel, hogy ezek a törvények elenyésznek, s *arra kell odafigyelnünk, amit mint tisztátalanságot valamikor eltávolítottunk*. Mit kell figyelembe vennünk? Elsősorban azt, hogy a jövő és a múlt hogyan vesz részt az emberi jelen meghatározásában, a dialektikát, amely a társadalomnak biztosítja viszonylagos stabilitását, részleges újratermelődését, valamint az emberi tevékenységet, mely a jövő ismeretében megkísérli újrakódolni, azaz módosítani a jelent.

A biológiai fejlődés olyan populációkat ír le, amelyek — függetlenül az egyedi viselkedésekben megjelenő önálló kezdeményezésektől — az őket sújtó és a viselkedésükből következő átfogó változásokat nem értik meg, csupán elszenvedik. A biológiai fejlődés

értelmezési kísérleteinek sajátosan az a korlátja, hogy az értelmezésbe általában csupán a múltat tudják bevonni, nem képesek feltételezni, hogy az élőlények előrelátják vagy megpróbálják előrelátni jelen viselkedésük következményeit a csoport jövőjének szempontjából. Azok viszont, akik az emberi fejlődést próbálják megérteni, arra kényszerülnek, hogy elképzelésükbe beépítsék azt a tényt, amely szerint az emberi tevékenység a jövőt is — még hozzá nemcsak az egyén, hanem a közösség jövőjét is — magába foglalja. Akkor, amikor — s ez kétségtelenül először fordul elő a történelem folyamán — az emberi közösség kimondottan is a Föld egészét tekinti vonatkoztatási alapként, s mikor — mindnyájan tudjuk — destabilizált társadalmaink „elágazási ponthoz” közelednek, a természettudományoknak a maguk részéről emlékeztetniük kell a következő igazságra: az állati társadalmaktól eltérően, az emberi társadalmak *képesek* maguk elé célokat kitűzni. A jövő nem „adott”.

Az instabilitáshoz kötődő lényegi-belső bonyolultság fogalma azonban nem elégséges ahhoz, hogy megsemmisüljön a redukcionizmus és az értelmezhetetlen emergencia elméletének alternatívája. A megjósolhatatlanság és az új létrejötté nem azonosítható egymással minden további nélkül. Először is, az ember számára az „új létrehozása” találmányt, új jelentések feltárását, új értelmezést jelent. Ha szükséges, a fizika történetéből számtalan példa hozható erre. A relativitáselmélet a fénysebességet egyetemes állandóként értelmezi. A kvantummechanika megadja a plancki  $h$  állandó jelentését. Azzal, hogy az időnyíl bekerült a dinamikába, létrejött a dinamikai instabilitás fogalma. Ezzel összefüggésben új értelmet nyernek azok a formalizmusok, amelyekben ezek az újítások szerepet játszanak. A dinamikai objektum többé nem része az egyetemes newtoni időnek; a kvantumfizikai objektum többé nem egyeztethető össze azzal az eszménnyel, hogy az őt definiáló változók értéke egyidejűleg meghatározott; a stabil és megjósolható viselkedésű inga pedig ezentúl csupán szinguláris határesetet a dinamikában.

Nem az a kérdés, hogy az emberi újítások vajon megmagyarázhatók-e a fizikai-kémiai világ tudományainak segítségével, hanem az, hogy újításai az embert vajon szembeállítják-e a világ többi részével, vajon nem válik-e az ember idegenné egy olyan világban, melynek változásai talán megjósolhatatlanok, de nem újítóak. Annyi bizonyos, hogy ha egy napon a Hold — a bolygórendszer lényegi instabi-



lításának köszönhetően — „spontán módon” elhagyná Föld körüli periodikus pályáját, ebben az esetben nem beszélhetnénk „újításról”. Éppen fordítva, az instabilitáshoz kötött lényegi-belső bonyolultság fogalmának gazdag jelentéstartalma azt eredményezi, hogy a Hold pályájának instabilitása *ugyanazokból* a kölcsönhatásokból, *ugyanabból* a típusú oksági viszonyból lenne eredeztethető, mint amelyek stabilitását is meghatározták.

Tehát az okság fogalmát is át kell gondolnunk. Nos, ezt a fogalmat az egyensúlytól távoli fizika mélyrehatóan módosítja. Ez a módosulás jól mutatja, miben rejlik a termodinamika fogalomalkotási módjának eredetisége a dinamikai magyarázathoz képest.

Termodinamikai szempontól a lényegi probléma mindig is a makroszkopikus stabilitás volt, valamint a lényegi változóknak a stabilitás által lehetővé tett kiválasztása. Az egyensúlyban lévő rendszerek termodinamikája egy olyan rendszer állapotát, amelyben milliárdszor milliárdszor milliárd molekula található, kisszámú változóval leírható makroszkopikus állapotként határozza meg. Ezt azért teheti meg, mert ez a makroszkopikus állapot a benne összegeződő szüntelen mikroszkopikus tevékenységet illetően stabil. A második főtétele megalapozza annak lehetőségét, hogy elhanyagoljuk a több milliárd egyidejűleg lezajló folyamat részleteit: biztosítja az egyensúlyi állapotot megzavaró fluktuációk összességének regresszióját. Tehát a dinamikával ellentétben, a termodinamika eljárásmodja *szelektív*. Egy rendszer változási mechanizmusait csupán abban a mértékben képezi le, amilyen mértékben ezek a mechanizmusok jelentéssel rendelkeznek, azaz lehetővé teszik a rendszer által választott makroszkopikus viselkedés előrejelzését.

Márpedig az egyensúlytól távoli rendszerek tanulmányozása megmutatja, hogy ez a szelekció nem egyszer s mindenkorra meghatározott. A körülményektől, vagyis az egyensúlytól való távolságtól, a rendszert tápláló hő-, illetve anyagáramlásoktól függ.

Mire képes az anyag? Ma már nyilvánvaló, hogy a kérdés jelentéstartalma sokkal gazdagabb, mint hittük volna. Az egyensúlyi állapotot jól ismerjük. Olyan állapot ez, melyben az összes folyamatok kölcsönösen kiegyenlítik egymást, s melyben egyetlen lokális eseménynek sincs következménye. De ismerünk olyan kritikus helyzeteket is, melyekben éppen ellenkezőleg, a rendszer igazi egészzé válik, nem harmonikus, stabil egészzé, hanem megfordítva, teljes-

séggel nem-leképezhető állapotot vesz fel. Ebben az állapotban már semmi sem tekinthető jelentéktelennek, minden eseménynek az egész rendszert érintő következményei vannak. Semmilyen szelekció, semmilyen egyszerűsítés nem engedhető meg, és a makroszkopikus szint fogalma maga is értelmét veszti. Említhetjük — más körülmények között — a nukleációs folyamatot is, amelyben megjelenik egy olyan küszöb, melytől kezdve egy lokális esemény jelentőssé válik, melyet átlépve egy fluktuáció felerősödhet. Természetesen felhozhatjuk a disszipatív struktúrák meglepő egységének példáját is: itt a mikroszkopikus folyamatok tömege új típusú makroszkopikus működést vált ki, s többé nem beszélhetünk olyan egyszerű átlagos állapotról, mely nagyszámú, egymástól lényegileg független folyamat közömbös végeredményeként állna elő. Valódi társas viselkedés felbukkanását kell elképzelnünk, melynek következtében nem a mikroszkopikus folyamatról, hanem az arról alkotott elképzelésünket kell módosítanunk, hogy nagyszámú folyamat *együttesen* mit hozhat létre.

Ezeket az új típusú viselkedéseket a fizikusok a „korreláció” fogalmával írják le. Az egyensúlyi állapot, amelyet hagyományosan a nagy szám tipikus megjelenésének tekintettek, ezentúl mint olyan kivételes állapot jelenik meg, amelyben a korrelációk hatása és intenzitása nulla, azaz ahol a különböző lokális folyamatok nem informálják egymást.<sup>222</sup> Az egyensúlytól távol olyan korrelációk lépnek fel, amelyek kikényszerítik arról alkotott elképzelésünk megváltoztatását, hogy mit jelent — még a molekulák esetében is — az „együttlét”. Vagyis új módon kell leképeznünk a makroszkopikus szintet, és át kell alakítanunk a jelentést hordozó elemeket érintő szelekciós elveinket. Más szóval, szigorúan véve nem lenne szabad egy rendszerről mint „disszipatív tevékenység színhelyéről” beszélni, hiszen az egyensúlytól távoli disszipatív tevékenység és a vele járó hosszú távú korrelációk<sup>223</sup> alakítják át az alkalmi kölcsönhatásokba lépő molekulapopulációt valódi rendszerré, melyben az egyes molekulák között kapcsolatok állnak fenn. Amennyiben értelmet hordoz, amennyiben vizsgálatához jól meghatározott formális eszközök szükségesek, annyiban a rendszer nem létezik működési rendje előtt, hiszen értelmét disszipatív tevékenységétől nyeri.

Ezzel elérkeztünk egy új típusú oksághoz. Egyensúlyi és egyensúlyközeli állapotban az ok fogalmának meghatározása nem járt komolyabb nehézséggel. Ha például egy különböző reagensekből álló

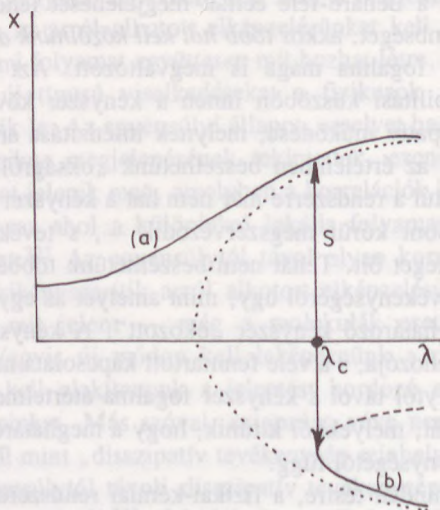
keverék hőmérsékletét emeltük, egyensúlyi állapot elmozdult, s ez az elmozdulás arányos volt a kényszerhatással. Anélkül, hogy le kellett volna írunk részleteiben a lezajló vegyi folyamatokat, a kényszerhatást problémamentesen az elmozdulás — a kémiai reagensek koncentrációjának változása — „okaként” határozhattuk meg. De vegyük a Bénard-féle instabilitást, melyet „A termodinamika három lépcsőfoka” című fejezetben tárgyaltunk! Fokozzuk itt is enyhén a kényszer — az aluról felfelé tartó hőáramlást —, mely a rendszert távol tartja az egyensúlytól! Ha a módosítás következtében a rendszer átlépi az instabilitás küszöbét, nem a stacionárius állapot egyszerű elmozdulása következik be, hanem a rendszer teljes átalakulása: megjelennek a konvekciós cellák. Ezzel összefüggésben a hőátvitel globális folyamata felgyorsul, ami azt jelenti, hogy ha fenn akarjuk tartani a Bénard-féle cellák megjelenését lehetővé tevő hőmérséklet-különbséget, akkor *több hőt kell közölnünk a rendszerrel.*

A kényszer fogalma maga is megváltozott. Azt mondhatnánk, hogy az instabilitási küszöbön innen a kényszer következménye a rendszer disszipatív működése, melynek intenzitása arányos a kényszerrel. Ebben az értelemben beszélhetünk „okságról”. Az instabilitás küszöbén túl a rendszerre már nem hat a kényszer — mely körül mint kiindulópont körül megszerveződik —, s tevékenysége auto-determinált jelleget ölt. Tehát nem beszélhetünk többé egy disszipatív struktúra tevékenységéről úgy, mint amelyet az egyensúlytól való távolságot meghatározó kényszer „okozott”. A kényszer itt *szinguláris* hatás létrehozója, s a vele fenntartott kapcsolata nem egyszerű.

Az egyensúlytól távol a kényszer fogalma átértelmeződik. Bemutatunk két példát, melyekből kitűnik, hogy a meghatározás maga is a rendszer tevékenységétől függ.

A Földön minden testre, a fizikai-kémiai rendszerek molekuláira is hat a nehézkedés, a gravitációs erő. Általános kényszerről van szó, de amikor egyensúlyban lévő fizikai-kémiai rendszereket vizsgálunk, ez a kényszer elhanyagolható. A molekulák hőmozgása ugyanis képes a gravitációs mező hatását semmissé tenni. Az egyensúlytól távol, az instabilitás küszöbén túl viszont egészen más a helyzet. Ebben az esetben a gravitációs mezőt számításba kell venni, hiszen a rendszer lényegi-belső viselkedésének következményeképpen hihetetlen módon felerősödhet. Kiválthatja az elágazások diagramjának módosulását is (a meghatározást lásd a 155. oldalon). Ezt a jelen-

séget nevezzük „rásegítéssel elágazásnak”. Két olyan makroszkopikus tartomány, amely külső mező jelenléte nélkül tökéletesen egyenértékű lenne egymással, és adott fluktuáció felerősödése folytán egyformán megközelíthető, most elválnak egymástól. Egyikük kiváltságos helyzetre tesz szert: az instabil stacionárius állapotból kiindulva elérhetővé válik a rendszer számára nem-folytonos átmenet nélkül is, míg a másodiknak véges nagyságú zavarra van szüksége ehhez. Tehát az első tartomány számára a stacionárius tartomány ( $S$ ) instabil, a második számára pedig csupán metastabil (lásd a 28. ábrát). Azt mondhatnánk, hogy az egyensúlytól távol az anyag érzékennyé válik azokra a hatásokra, amelyek az egyensúlyi állapotban nem érintették.<sup>224</sup>



28. ábra Rásegítéssel elágazás jelensége külső mező jelenlétében. A pontozott vonal azt a szimmetrikus elágazást mutatja, amely a mező jelenléte nélkül alakult volna ki. A mező jelenlétében az elágazás aszimmetrikussá válik: az  $a$  ág folytonos módon alakul ki, ahogy az elágazási paraméter növekszik; a  $b$  ág csak akkor valósul meg, ha a paraméter eléri egy kritikus értéket, vagyis egy véges nagyságú zavar bekövetkezte után

Tényleges kísérleti helyzetekben a rendszert tápláló fluxusok soha nem szigorúan egyformák, hanem többé-kevésbé ingadozóak. A matematikai modell rendszerint nem veszi figyelembe ezt a zavart, amelyet jelentéktelennek minősít. S valóban igaz, hogy egyensúlyi állapotban nincs jelentős hatása. De az egyensúlytól távol a helyzet megváltozhat. Kimutatható, hogy egy véletlenszerűen modulált fluxus a stabil viselkedés új lehetőségeit hozza létre. Az egyensúlytól távoli rendszer *érzékeny*é válik arra a zavarra, amelynek egyensúlyi helyzetben nem volt semmilyen megfigyelhető következménye.<sup>225</sup>

Itt az érzékenység azt jelenti, hogy a gravitációs mezőnek vagy a fluxust moduláló véletlenszerű zavarnak nincs általános hatása (például egy függőleges sűrűségi gradiensnek vagy egy makroszkopikusan zajos tartománynak). Az általuk kiváltott hatás nem *hasonlít* rájuk; különleges módon épülnek be a rendszer strukturálódási folyamatába. A rendszer tehát nem csupán abban az értelemben nyílt, hogy az őt tápláló fluxusok távol tartják az egyensúlytól, hanem abban is, hogy az egyensúlyi állapotban még jelentéktelen kis különbségek szelektív módon *informálhatják*.

Az egyensúlytól távol *az együttes működési rend függvényében és nem apriorisztikusan, egyszer s mindenkorra* dől el, hogy mi lesz jelentéktelen és mi nyer jelentést. Nem tudhatjuk *a priori*, hogy egy kémiai populáció mire képes, mint ahogy nem tudjuk *a priori* megmondani azt sem, hogy mit kell számításba vennünk, s mi az, ami elhanyagolható. Ez a felfedezés új megvilágításba helyezi a bonyolultság fogalmát. Nem csupán az előrejelezhetetlenség válik problematikussá, hanem a rendszer meghatározása, a környezettel fenntartott kapcsolata is.

Véleményünk szerint a bonyolultság eme értelmezésében az a fontos különbség jelenik meg, amely az analitikus megközelítés és a redukcionista retorika között áll fenn. Míg az utóbbi valamiképpen mindig a „csupán” szócskára lyukad ki, mert az elemi viselkedésformák viszonylagos egyszerűségére alapozva kíván *ítéletet mondani* az egész működéséről, az analitikus megközelítés felveti, hogy az adott viselkedés nem az egyetlen lehetséges viselkedés, s hogy más körülmények között az anyag sok minden mást is létrehozhat. Az analitikus megközelítéstől távol áll az egyszerű világ képzete, ezzel szemben megközelíthetővé teszi számunkra a bonyolultság világát, melyet — ha nem is mondható róla *ítélet* — fel kell derítenünk.

Itt is új ösvényeket látunk kirajzolódni a természettel folytatott párbeszédben. A kísérletes párbeszéd újra felfedezi saját magát, saját kockázatos jellegét, azt, hogy a tét nem más, mint a kérdésfeltevés lényegi volta, az egyszerűsítés jogossága vagy helytelensége. A kísérletes párbeszédben felmerülő minden egyes kérdés előfeltételezi az arra vonatkozó hipotézist, hogy a vizsgált tárgy mire érzékeny, és ebben a kérdésben semmilyen módszer nem engedheti meg magának a semlegességet.

Mondanunk sem kell, hogy a lényegesség kérdése még erőteljesebben vetődik fel az élőlények viselkedésének tanulmányozása során. Az élőlényeket nem laboratóriumban készítik elő, hanem számtalan történeti hatás, fajuk, saját és esetleg csoportjuk történetének eredői. Itt még inkább, mint a fizikában és a kémiában, a kísérletezés kockázatvállalást jelent, s azt, aki tárgyát meg kívánja „tisztítani” annak érdekében, hogy megfigyeléseit ellenőrizhetővé és megismételhetővé tegye, mindig fenyegeti az a veszély, hogy tevékeny jelenléte meghamisítja a megfigyelt tárgy meghatározását. Az élőlény bonyolultságát, vagyis azt a kérdést, hogy mire érzékeny, hogy mi informálja viselkedését, szerfölött gyakran tartották a kísérleti tevékenység előtt tornyosuló akadálnak, mert nem tette lehetővé, hogy az élőlényt úgy vizsgálják, mint egy fizikai-kémiai rendszert, elszigetelten és ellenőrzöten. Bizonyos, hogy ki fog fejlődni egy olyan kísérleti módszer, amely ezt az akadályt valódi kérdéssé alakítja, olyanná, mely már nem kívánja semlegesíteni a kísérleti közeget, hanem azt szeretné felderíteni, hogy a kísérleti kérdésfeltevés milyen „értelmet” hordoz a kérdezett számára.

A bonyolultság felfedezése mindenekelőtt kihívás számunkra. Arra emlékeztet bennünket, hogy tudományunk még csak a kezdeteknél tart. Ezek a kezdetek szenvedéllyel telítettek, néha pedig elbizakodottság nyilvánul meg bennük. Manapság kezdjük felismerni, hogy mit is jelent a lényegi-belső módon aktív világ fogalma, s kezdjük megérteni, mennyire tudatlanok vagyunk még. Ám a bonyolultság, melyre rábukkantunk, reményt is hordoz: a tudomány újabb azonosságának reményét, azt a reményt, amelyet könyvünk címe, *Az új szövetség* is tükröz. Ezzel a címmel azt szerettük volna érzékeltetni, hogy túl a hamis osztályozásokon, tilalmakon, kulturális, politikai és gazdasági kényszereken, a tudománynak kizárólag az emberi alkotásvágy szabhat határokat. A tudomány nem holmi







# Jegyzetek

## Bevezetés

- <sup>1</sup> J. MONOD, *Le Hasard et la nécessité*. Paris, Seuil, 1970, 194—195.
- <sup>2</sup> A baktérium mozgásáról lásd: J. ADLER, „The Sensing of Chemicals by Bacteria”. *Scientific American*, April 1976, 40—47.
- <sup>3</sup> K. POPPER, *Objective Knowledge*. Oxford, Clarendon Press, 1972.
- <sup>4</sup> MONOD, *idézett mű*, 141—143. A későbbiekben látni fogjuk, hogy Monod leírása összhangba hozható az instabilitás és az elágazás gondolatával. Hangsúlyoznunk kell, hogy itt természetesen csupán metaforákról van szó. Fontos, hogy egy korát megelőző tudományos „tekintély” súlya ne nehezüljön rá arra, ami egy nap talán pontos kérdésként fogalmazható meg.
- <sup>5</sup> P. FORMAN, „Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918—1927; Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment.” *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 3, 1971, 1—115.
- <sup>6</sup> Lásd például ARTHUR EDDINGTON nagyszerű könyvét: *The Nature of the Physical World*. Ann Arbor Paperbacks, Michigan Press, 1958, 68—80.
- <sup>7</sup> A kifejezés SERGE MOSCOVICITŐL származik, és kitüntetett helyet foglal el abban a témakörben, amit ő a tudományok „kepleri forradalmának” nevez „Quelle unité de l'homme?” c. írásában (In: *Hommes domestiques et hommes sauvages*, Paris, Christian Bourgois, 1974, 10—18.).
- <sup>8</sup> Lásd E. SCHRÖDINGER cikkét a *The British Journal for the Philosophy of Science*-ben (vol. 3, 109—110.), melyet méltatlankodva idéz P. W. BRIDGMANN a *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science* c. kötetben megjelent írásában (Ed. S. HOOK, New York, University Press, 1958).
- <sup>9</sup> A. EINSTEIN, „Prinzipien der Forschung. Rede zu 60. Geburtstag von Max Planck” (1918), In: *Mein Weltbild*, Ullstein Verlag, 1977, 107—110. [Magyarul: „A kutatás elvei.” In: *Hogyan látom a világot?* Budapest, Gladiátor Kiadó, 1994, 122. Ford. Szécsi Ferenc (első kiadás: Budapest, Faust, 1935).]
- <sup>10</sup> Hacsak nem térünk vissza a mágusok idejébe. Nem jelentőség nélküli, hogy a legkedvezőbb esetben a titkos tudás gondolata, amelynek ellenében az újkori modern tudományok megfogalmazódtak, ismét megjelent azáltal, hogy a fizikában csakúgy mint a biológiában *aránytalan* hatásokra tudjuk készíteni a természetet. Az újkor tudós-mérnökei az alkímistákkal és mágusokkal szemben tagadták ezt a lehetőséget, tagadták, hogy a természet befolyásolásával előidéz-

hetnénk olyan hatásokat, melyek nem állnak arányban a hatás okául szolgáló tevékenységünkkel.

- 11 A *finalizáció* terminust a német tudományozsociológusok starnbergi csoportja vezette be. Lásd például: G. BÖHME — W. VAN DEN DAELE — W. KROHN, „Die Finalisierung der Wissenschaft.” *Zeitschrift für Soziologie*, 1973, Jg. I, Heft 2, 128—144.
- 12 S. MOSCOVICI, *Essai sur l'histoire humaine de la nature*. Paris, Flammarion, „Champs”, 1977.

### I. fejezet

- 13 „A természet és törvényei az éjszaka leple alatt rejtettek. Isten így szólt: Legyen Newton! És minden fénybe borult.”
- 14 „A természet kényszerűen aláveti magát a szellem élének, s örömmel felfedi előtte titkos útjait; a matematika ellen nincs fegyvere, és meghajlik a tapasztalati észjárás előtt.” J. T. DESAGULIERS, *The Newtonian System of the World. The Best Model of Government: an Allegorical Poem*, 1728. Idézi: H. N. FAIRCHILD, *Religious Trends in English Poetry*. I. New York, Columbia University Press, 1939, 357.
- 15 „Mint miniszterek, kik lesik minden pillantását, hat világ táncol trónja körül misztikus rendben. Meghajlítja mozgásuk eltérő pályáját, s vonzerők kényszerének veti alá útjukat, de törvény szabta hatalma szabadságot hagy nekik, irányítja, de nem rombolja le szabadságukat.” — DESAGULIERS, *idézett mű*, 358.
- 16 GERD BUCHDAHL hangsúlyozza és szemlélteti is a newtoni modell empirista (*Optika*) és rendszerező (*Principia*) dimenziójának kettősségét *The Image of Newton and Locke in the Age of Reason* (Newman History and Philosophy of Sciences Series, London, Sheed and Ward, 1961) c. könyvében. Ami a newtoni fogalmak metaforikus használatát illeti a XIX. század elején, hadd utaljunk JUDITH SCHLANGER szép könyvére: *La Métaphore de l'organisme* (Paris, Vrin, 1971), különösen a 36—45. és 99—108. oldalra.
- 17 „...Isten óvjon attól, hogy fél szemünk legyen csak nyitva, és Newton álmát aludjuk mi is!”
- 18 *La Science et la diversité des cultures*. UNESCO, Paris, P.U.F., 1974, 15—16.
- 19 MONOD, *idézett mű*, 187—188. Lásd még C. C. GILLIPSIE *The Edge of Objectivity* (Princeton, University Press, 1970) c. könyvét, mely a tudományok történetét a tudományos objektivitás fejlődésére és a különféle, a biztonság és a hovatartozás utáni vágyból fakadó tudományellenes mozgalmak elleni harcra alapozza.
- 20 M. HEIDEGGER, „Die Frage nach der Technik.” In: *Vorträge und Aufsätze*, Neske Verlag, 1954, 15.
- 21 HEIDEGGER, *idézett mű*, 21.
- 22 L. PAUWELS — J. BERGIER, *Le Matin des magiciens*. Paris, Le Livre de Poche, 1970, 46.
- 23 PAUWELS — BERGIER, *idézett mű*, 48—49.

- <sup>24</sup> R. RUYER, *La Gnose de Princeton*. Paris, Fayard, Collection Pluriel, 1977.
- <sup>25</sup> L. PAUWELS — BERGIER, *idézett mű*, 56.
- <sup>26</sup> A. KOYRÉ, *Études newtoniennes*. Paris, Gallimard, 1968, 42—43.
- <sup>27</sup> C. P. SNOW, *The two Cultures and a Second Look*. Cambridge, Cambridge University Press, 1964.
- <sup>28</sup> CLAUDE LÉVY-STRAUSS a „Race et histoire”-ban (*Anthropologie structurale 2*, Paris, Plon, 1973) elemezte azokat a feltételeket, amelyek alapján rokoníthatjuk egymással az újkőkori és az ipari forradalmat. Az általa ezzel kapcsolatban bevezetett, katalizátorok kiváltotta láncreakciókra — olyan folyamatok ezek, melyeket szinguláris kinetika és küszöb-, valamint szingulárispont-jelenségek jellemeznek — épülő modell bizonyíték arra, hogy lehetnek közös elemek a stabilitás és az instabilitás (a VIII. fejezetben tárgyaljuk) problematikája, valamint azon kérdések között, amelyeket a kifogástalan, de korlátozó módon strukturálisnak nevezett antropológiai felfogás vetett föl. Ezt a lehetőséget tárgyalja a strukturalizmusnak szentelt gondolatébresztő cikkében GILLES DELEUZE (In: F. CHATELET, *Histoire de la philosophie*, 8. Paris, Hachette, 1973). Azok is foglalkoznak ezzel a kérdéssel, akiket később valószínűleg Comte utáni strukturalistáknak fognak nevezni (A. Moles, M. Serres és mások, akik fogékonyak a kinetikai és statisztikai megközelítésekre).
- <sup>29</sup> „A mítosz uralma minden társadalomban kizárja a párbeszédet: a csoport mítoszait nem lehet megvitatni, de miközben azt hiszik, hogy csupán ismétlik, át is alakítják őket” (CLAUDE LÉVY-STRAUSS, *Mythologiques 4*, Paris, Plon, 1971, 585). A mítosz beszédmódja tehát különbözik a (filozófiai vagy tudományos) kritikai párbeszédétől, de inkább saját gyakorlati megismételhetőségének feltételei miatt, semmint az egyes feladók racionális gondolkodásra való alapvető képtelensége miatt. Elmondható, hogy a kritikai párbeszéd gyakorlata úgy hatott az igazi kozmológiai elbeszélésekre, hogy látványos evolutív gyorsulás következett be.
- <sup>30</sup> A következő bekezdésekben J. P. VERNANT *Mythe et pensée chez les Grecs* (Paris, Maspéro) és M. DETIENNE — J. P. VERNANT *Les Ruses de l'intelligence, la Métis des Grecs* (Paris, Flammarion, 1974) c. művéből merítettünk.
- <sup>31</sup> Itt a szerző arra gondol, hogy a francia *machine* (gép) szó elavult értelemben ravaszkodást jelent, a *mécanique* (mechanika; a görög *mekhanikosz*ból) pedig a machinációval, az *ingénieur* (mérnök) az *ingénieur*-vel (ügyes, találékony; a tehetség, értelem jelentésű latin *ingenium*ból) rokon. — *A ford.*
- <sup>32</sup> Ez KOYRÉ fő témája az *Études galiléennes*-ben (Paris, Hermann, 1966).
- <sup>33</sup> ALEXANDRE KOYRÉ igen nagy hangsúllyal beszél erről: az újkori tudománynak kezdetben nem csupán az uralkodó metafizikai hagyománnyal kellett felvennie a harcot, hanem az empirikus-technikai tradícióval is (lásd „La dynamique de Nicola Tartaglia.” In: *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973). Tegyük hozzá, hogy ez a megjegyzés véleményünk szerint semmi szín alatt nem jelenti azt, hogy a középkorban kifejlődött kézműves tudás ne lenne egyik forrása a jelenkori tudományos ismereteknek.

- <sup>34</sup> Azok az erőfeszítések, amelyek árán egyes mérnökök még a XX. században is meg akarták alkotni az örökmozgót, annak a gondolatnak a továbbéléséről tanúskodnak, hogy egy csalfinta gépezet segítségével *meg lehet kerülni* a természettel fennálló kapcsolatainkat szabályozó alapelveket. Lásd A. ORD-HUME, *Perpetual Motion. The History of an Obsession*, New York, St. Martin's Press, 1977.
- <sup>35</sup> K. R. POPPER ezt a kísérletezés játékától elválaszthatatlan kockázatot fogalmazta meg normatív elvek formájában *La logique de la découverte scientifique* [Eredeti címe: *Logik der Forschung*] c. művében, amikor kimondta, hogy a tudósnak keresnie *kell* a legvalószínűtlenebb, azaz a legkockázatosabb hipotéziseket, majd törekednie kell megcáfolásukra.
- <sup>36</sup> A újkori tudomány kezdeteinek kérdése az egyik olyan pont, ahol a tudományos tényezőkre összpontosító tudománytörténet semmitmondása a legtisztábban megnyilvánul. De akkor hogyan kezdje munkáját a tudománytörténet? Két hagyomány ütközik: egyrészt Needham, Bernal, Hogban, Haldane angol történészeké, akikre termékenyítő hatással volt a szovjet történészekkel való találkozásuk 1931-ben (2. Nemzetközi tudomány- és technikatörténeti kongresszus, London, 1931; anyaga *Science at the Cross Roads* címen jelent meg, újra kiadva 1971-ben, London, Frank Cass Edition); másrészt Koyré hagyománya, aki szerint a tudományt mint szellemi jelenséget, szellemi tényezőkkel kell megmagyarázni, elsősorban egyfajta platonizmus újjáéledésével. Bővebb tájékozódás céljából lásd RUPERT HALL cikkét: „Merton revisited” (In: *Science and Religious Belief, a Selection of Recent Historical Studies*. Ed. C. A. RUSSELL, London, The Open University Press and University of London Press, 1973).
- <sup>37</sup> Koyré ellenében PIERRE THUILLIER hangsúlyozta a gépkészítők gyakorlatának jelentőségét, különösen ami a homogén és izotrop tér felfogását illeti: „Au commencement était la machine.” *La Recherche*, vol. 63, janvier 1976, 47—57.
- <sup>38</sup> Lásd J. NEEDHAM, *La Science chinoise et l'Occident. Le grand Titrage*, Paris, Seuil, 1977, Collection Points, különösen a „Science et société à l'Est et à l'Ouest” fejezetet.
- <sup>39</sup> Az, hogy itt a nem-tudományos tényezők szerepének kommentálására vállalkoztunk, nem jelenti azt, hogy megfeledekezünk a középkori társadalom hatalmas eredményeiről, így az aritmetika és a geometria szintéziséről — amire a görögök képtelenek voltak —, a Hold alatti világban megfigyelhető mozgás matematikai leírásáról és a fizikai okság elvének bevezetéséről az égi világban.
- <sup>40</sup> A. N. WHITEHEAD, *Science and the Modern World*. The Free Press, New York, Mac Millan, 1967, 12.
- <sup>41</sup> WHITEHEAD, *idézett mű*, valamint *Adventure of Ideas*. The Free Press, New York, Mac Millan, 1967.
- <sup>42</sup> A. KOJÉVE, „L'origine chrétienne de la science moderne.” In: *L'Aventure de l'esprit*. Mélange Koyré, Paris, Hermann, 1964.
- <sup>43</sup> NEEDHAM, *idézett mű*, 221.
- <sup>44</sup> NEEDHAM, *idézett mű*, 243.

- <sup>45</sup> A világnak ezt az „istentelenítését”, melyhez a világ-gép keresztény metaforája vezetett, R. HOOYKAAS hangsúlyozza *Religion and the Rise of Modern Science* c. művében (Edinburgh/London, Scottish Academic Press, 1972, lásd különösen a 14–16. lapot). JACQUES ROGER (*Les Sciences de la vie dans la pensée française du XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, Armand Colin, 1971) a biológiával kapcsolatban leírja az ágostoni és a mechanisztikus világnézet rokonságát: mindkettő „mindent elvesz a természettől, hogy azt Istennek juttassák”.
- <sup>46</sup> „Sivár, hangtalan, szagtalan, színtelen dolog, csupán céltalanul rohanó, értelmetlen anyag” — WHITEHEAD, *Science and the Modern World*, 54.
- <sup>47</sup> GALILEINEK a geometriai jelekkel írt természetről szóló híres szövege az *Il Saggiatore*-ban szerepel. KOYRÉ idézi „Galilée et Platon” c. írásában (In: *Études d'histoire de la pensée scientifique*. 186). Lásd még *Dialogues des deux grands systèmes du monde*, valamint KOYRÉ tanulmányát erről a szövegről az *Études galiléennes*-ben (277–290).
- <sup>48</sup> MAURICE MERLEAU-PONTY hangsúlyozza e kor kulturális egységét, melynek a tudomány valódi alkotórésze: „A XVII. század az a kivételes pillanat, amikor a természetismeret és a metafizika hite szerint közös alapra talált. Létrehozta a természettudományt, de a tudomány tárgyát mégsem tette lételméleti kánonná... A Lét nem nyer teljes elutasítást és nem silányul Külső Létté. Egyként létre talál a szubjektum vagy lélek és annak ideái, valamint az ideák összefüggései egymással, s ez a világ éppen olyan nagy, mint a másik... Mindazokat a problémákat, melyeket a szcientista lételmélet nemlétezőnek fog nyilvánítani azzal, hogy kritikátlanul a külső létben — mint egyetemes közegben — helyezi el magát, a XVII. század filozófiája éppen hogy szüntelenül napirenden tartja” (*Éloge de la philosophie*, Paris, Gallimard, Idées sorozat, 1960, 218–219.).
- <sup>49</sup> Mindenesetre diadalmaskodik Franciaországban, valamint a porosz és orosz akadémiákon, amelyeket az abszolutista uralkodók hoztak létre. BEN DAVID (*The Scientist's Role in Society. A Comparative Study*. Foundations of Modern Sociology Series, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1971) hangsúlyozza a különbséget ezen országok fizikusainak és matematikusainak helyzete — akik a tiszta tudománynak, ennek az ígéretes, ám tisztán elméleti jellegű tevékenységnek szentelik magukat — és az angol fizikusok helyzete között, akiket valósággal agyonnyom az empirikus és technikai problémák sokasága. Ben David szerint kölcsönviszony áll fenn a tisztán elméleti tudomány ígérete és azon törekvés között, hogy távol tartsák a hatalomtól azt a társadalmi osztályt, amely a „szcientista vonulatot” támogatja, és amely a tudományban a társadalmi és anyagi haladás ígérését látja.
- <sup>50</sup> D'Alembert-ről készült életrajzában (*Jean d'Alembert, Science and Enlightenment*. Oxford, Clarendon Press, 1970) THOMAS HANKINS felhívja a figyelmet az újkori értelemben vett első igazi tudományos közösségnek, a XVIII. század fizikusi-matematikusi közösségének igen korlátozott és máris zárt jellegére, valamint arra a szoros kapcsolatra, amely e csoportosulás és az abszolutista uralkodók között állt fenn.

<sup>51</sup> A. EINSTEIN, *idézett mű*, 108—109. [Magyarul: *idézett mű*, 123.]

<sup>52</sup> E szempontból, mint ahogy a III. fejezetben látni fogjuk, a kantianizmus egy bizonyos vonulatának sikere a tudományos fejlődés legdiadalittasabb értelmezéseinek igazolását jelenti azon az új egységben belül, amelynek immár nem Isten, hanem az ember a középpontja.

<sup>53</sup> „Az új filozófia mindent kétségbe von. A tűz-elem teljesen kialudt, a nap eltűnt, vele a föld, s senki emberfia nem tudja, hol keresse. S az emberek szabadon kiáltják, hogy a világ kiüresedett, miközben újdonságok után kutatnak a bolygókban és az égbolton, aztán meglátják, hogy minden újra atomjaira omlott szét, minden darabokra szakadt, az egység szertefoszlott.” — J. DONNE, *An Anatomy of the World*. 1611.

## II. fejezet

<sup>54</sup> E kérdésre vonatkozóan lásd T. HANKINS, „The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century.” In: *Archives internationales d'Histoire des Sciences*, vol. XX, 1967, 42—65. B. I. COHEN, „Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia.” In: *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton. Tricentennial Celebration, The Texas Quarterly*, vol. X, 3, 1967, 125—157.

A következő négy bekezdésben az atomizmus és a megmaradás problémáját illetően a következő műből merítünk: W. L. SCOTT, *The Conflict between Atomism and Conservation Theory*. London, Mac Donald, 1970.

<sup>55</sup> A. KOYRÉ, *Études galiléennes*, 127—136.

<sup>56</sup> A mechanika történetéről frott munkájában (*Die Mechanik in ihrer Entwicklung*) ERNST MACH erősen hangsúlyozta, hogy a jelenkori dinamika kettős eredetű: a pályák és a tömegmérlegek tudományából származik.

<sup>57</sup> Legalábbis erre következtettek a jelenkori történészek, akik belefogtak Newton hatalmas mennyiségű „alkímiai iratának” tanulmányozásába, melyekről eddig vagy nem vettek tudomást, vagy félredobták őket mint „tudománytalan irományokat”. LORD KEYNES, akinek döntő része volt az iratok összegyűjtésében, így összegezi a felfedezés kiváltotta fordulatot: „Newton nem az Ész Korának első alakja volt. Az utolsó mágus volt, az utolsó babiloni vagy sumér mágus, az utolsó nagy szellem, aki a látható és szellemi világra ugyanazzal a szemmel tekintett, mint azok, akik csaknem tízezer évvel ezelőtt szellemi örökségünk épületének alapköveit lerakták.” — idézi B. J. DOBBS, *The Foundations of Newton's Alchemy*. Cambridge, University Press, 1975, 13; R. S. WESTFALL, „Newton and the Hermetic Tradition.” In: *Science, Medicine and Society*. Ed. A. G. DEBUS, London, Heinemann, 1972; valamint R. S. WESTFALL, „The Role of Alchemy in Newton's Career.” In: *Reason, Experiment and Mysticism*. Ed. M. L. RIGHINI BONELLI — W. R. SHEA, London, Mac Millan, 1975.

<sup>58</sup> DOBBS (*idézett mű*, 204—210.) tanulmányozta a „közvetítő”, e „harmadik test” szerepét, mely két másik test között teremt kapcsolatot. Ebből a szempontból fel-

- említhető a közvetítő személyiségének fontossága a Newtontól — legalábbis ami a kémiát illeti — nem is olyan távol álló Goethe *Vonzások és választások*­jában.
- <sup>59</sup> Newton „tévedésének” történetét HANKINS ismerteti (*Jean d'Alembert; Science and Enlightenment*. 29—35.)
- <sup>60</sup> G. L. BUFFON, *Réflexions sur la loi d'attraction*, az 1774-ben kiadott *Introduction à l'Histoire des Minéraux* függelékeként, *Oeuvres complètes*, IX. Paris, Garnier Frères, 75. és 76.
- <sup>61</sup> G. L. BUFFON, *Histoire Naturelle. De la Nature, Seconde Vue*. 1765. Idézi: H. METZGER, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*. Paris, Blanchard, 1974, 57—58.
- <sup>62</sup> A. THACKRAY *Atoms and Power. An Essay on Newtonian Matter Theory and the Development of Chemistry* c. művében leírja a francia kémikusok egy részének Buffon követőjévé válását (Cambridge Massachusetts, Harvard University Press, 1970, 199—233). A kémiában BERTHOLLET *Statique chimique*-je jelenti a buffoni program betetőződését és egyben lezárultát is. A tanítványok felhagynak majd mindazon fogalmak használatával, amelyek segítségével Berthollet a kémiai reakció folyamatát olyan átalakulásként ábrázolta, amely összeegyeztethető az erők és pályák tudományának követelményeivel, és még inkább elvetik azt a gondolatot, mely szerint a meghatározott arányok szerint végbemenő kémiai társulás nem szabály, hanem nagyon is egyedi eset. Valóban, a newtoni erők miképpen magyarázhatták volna azt a tényt, hogy két atom anélkül társul egymással, hogy egy harmadik atom, mely maga is vonzás alatt áll, ne venne részt ebben a társulásban?
- <sup>63</sup> Most nem magyarázhatjuk meg sem a newtonizmus franciaországi diadalát, sem bukását, de szeretnénk kiemelni néhány pontot, közülük is elsőként a legalábbis időbeli összefüggést ezen események és a tudomány franciaországi hivatássá válása között. E témakörrel lásd még: M. CROSLAND, *The Society of Arcueil, a View of French Science at the Time of Napoléon*, London, Heinemann, 1960, valamint Gay-Lussac életrajzát ugyanettől a szerzőtől (Cambridge University Press, 1978).
- <sup>64</sup> Tudjuk, hogy Thomas Kuhn szerint a jelenkori tudományos intézményekre az a feladat hárul, hogy biztosítsák a jövő kutatóinak kiképzését, azaz saját újratermelésüket; alapvető jellemzője ez annak a tudományos tevékenységnek, amelyet a XIX. század óta megszoktunk. Az ezzel összefüggő problémákat a tudománytörténészek kezdték el tanulmányozni, lásd különösen M. CROSLAND, R. HAHN, és W. FARRAR tanulmányait a *The Emergence of Science in Western Europe* c. műben. (Ed. M. CROSLAND, London, Mac Millan, 1975).
- <sup>65</sup> GASTON BACHELARD nagy jelentőséget tulajdonít a „tudományos testület” eme elszigetelődésének, mely szerinte döntő lépcsőfok. Még azt is megkockáztathatjuk, hogy bizonyos értelemben egész munkásságában erre az intézményesülésre, illetve az ismeretek rendszerében érvényesülő következményekre összpontosít, a világi tudománytól (*La Formation de l'esprit scientifique*) egészen a „tudomány városág” (*Le Rationalisme appliqué*). Ha eltekintünk a szalonviták könnyen

- neveltségessé tehető kereteitől, a XVIII. század tudományos nyitottsága, az akadémiai körök megsokasodása, a kíváncsi és kritikus szellemű kutatás nem-hivatásos jellegű gyakorlása igencsak szükséges ihletforrás lehetne manapság is.
- <sup>66</sup> Idézi J. SCHLANGER, *Les Métaphores de l'organisme*. Paris, Vrin, 1971, 108.
- <sup>67</sup>  $\partial$  azt jelöli, hogy *parciális* differenciálhányadosokról van szó. *H* egyszerre függvénye mind *p*-nek, mind *q*-nak, de csak az egyik változó szerint deriváljuk.
- <sup>68</sup> J. C. MAXWELL, *Report on Tait's Lecture on Force*. In: L. CAMPBELL, — W. GARNETT, *The Life of James Clerk Maxwell*. London, Mac Millan, 1882, 648.
- <sup>69</sup> A *De Orbitis Planetarium*ban (Jena, 1801) HEGEL ezt írja: „*Corpora autem coelestia glebae non adscripta et centrum gravitatis perfectius in se gerentia, Deorum more per levem aera incedant.*” Ugyanez a gondolat megjelenik a *Természetfilozófia* 269. bekezdésében; a *Természetfilozófia* angol fordítását használtuk (fordította, bevezetéssel és jegyzetekkel ellátta M. J. PETRY, I-III. London, Allen and Unwin, 1970, I. 262. és 347. lap). [Magyarul: *A filozófiai tudományok enciklopédiájának alapvonalai, II. kötet: A természetfilozófia*, Budapest, Akadémiai Kiadó, 1979. Ford. Szemere Samu, 83—86. (első kiadás: 1968).]
- <sup>70</sup> J. C. MAXWELL, *Science and Free Will*. In CAMPBELL — GARNETT, *idézett mű*, 443.
- <sup>71</sup> Ez a probléma MICHEL SERRES életművének egyik középponti témája; különösen figyelemre méltó a „Feltételek” c. fejezet a *La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*-ben (Paris, Minuit, 1977).
- <sup>72</sup> Laplace démonáról lásd E. CASSIRER, *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*. New Haven, Yale University Press, 1956, 3—25.

### III. fejezet

- <sup>73</sup> D. DIDEROT, *Le rêve de D'Alembert* In: *Oeuvres*. Paris, Gallimard, La Pléiade, 1935, 677. [Magyarul: *D'Alembert álma*. In: *Denis Diderot válogatott filozófiai művei*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1983, 226—227. Ford. Csatlós János.]
- <sup>74</sup> D. DIDEROT, *Entretien entre d'Alembert et Diderot*. idézett mű, 670—671. [Magyarul: *D'Alembert és Diderot beszélgetése*. In: *Denis Diderot válogatott filozófiai művei*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1983, 219—220. Ford. Csatlós János.]
- <sup>75</sup> D. DIDEROT, *Pensées sur l'Interprétation de la Nature*. 1754. In: *Oeuvres Complètes*, II. Paris, Garnier Frères, 1875, 11. [Magyarul: *Gondolatok a Természet Értelmezéséről*. In: *Denis Diderot válogatott filozófiai művei*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1983, Ford. Csatlós János és Győry János]
- <sup>76</sup> DIDEROT ezt a gondolatot Bordeu orvos szájába adja a *Le Rêve de d'Alembert*-ben. J. ROGER, *Les Sciences de la vie dans la pensée française du XVIII<sup>e</sup> siècle* c. művében elemzi Diderot és a kor filozófus-orvosainak viszonyát, és a 623. lapon kitér arra is, amit Bordeu a méhkasról mond.
- <sup>77</sup> Erről lásd ROGER tanulmányát, valamint A. LOVEJOY *Great Chain of Being* című híres könyvét (Harvard, University Press, 1973).



- <sup>78</sup> Venel következő tiltakozása, másokéval együtt, szimbóluma annak az ellenállásnak, amelyet a „művészi” munka (ahogy MOSCOVICI jellemzi *Essai sur l'histoire humaine de la nature* című művének 85. oldalán: „Emlékezete egyelőre az emberekben, nyelvezete gesztusaikban működik a legjobban.”) fejt ki az „eszközhasználó” munkával szemben a biológiai képességek újfajta felhasználásának útján, melyek közül egyesek finomodnak, mások pedig elcsökevényesednek: „Az érzékelés mellé társul a becslés és a számítás: a szem geometriailag érzékel. A gépek működése, az óraszerkezettől az egyetemes esztergáig, új érzékeket hoz létre... Az érzékenység kiszabadul a közvetlen tapasztalat rabságából, és többé nem azonosítható a szaglással, a ránézéssel, az érintéssel” (S. MOSCOVICI, 94).
- <sup>79</sup> A tudománytörténész GILLIPSIE felvetette, hogy esetleg szoros kapcsolat van a matematikai fizika ellen irányuló, Diderot és az *Enciklopédia* által népszerűsített fellépés, valamint az Akadémiát bezáró és Lavoisier-t lefejeztető forradalmárok ellenséges magatartása között. Ezt a feltételezést sokan támadták, de vitathatatlan, hogy a newtoni eszmék franciaországi győzelme egybeesik a rendteremtés korszakával és az Akadémia győzelmével a Diderot által támogatott empirista mesteremberek fölött („The Encyclopedia and the Jacobin Philosophy of Science. A Study in Ideas and Consequences.” In: *Critical Problems in the History of Science*. Ed. M. CLAGETT, Madison, Wisconsin, 1959, 255—289.). S különös helycsere történt: a kémia önállósága, melyet a kémikus-filozófusok és a mesteremberek követeltek, végül megvalósult ugyan, de a merev akadémiai kereteken belül, s gyakorlatát pozitivistá szellem határozta meg. A newtoni szellemű kémia programjának feladását nem kísérte a „filozófiai kémia” megalapozottságának elismerése, sőt, éppen hogy *annak ellenében* ment végbe.
- <sup>80</sup> G. E. STAHL, „Véritable distinction à établir entre le mixte et le vivant du corps humain.” In: *Oeuvres médico-philosophiques et pratiques*, II. Pitrat et Fils, Montpellier, 1861, 279—282.
- <sup>81</sup> A „szerveződés” terminus tartalmi átalakulásának leírását Stahl és a romantikusok között lásd J. SCHLANGER, *Les Métaphores de l'organisme* c. művének 49—60. lapján.
- <sup>82</sup> Ez a fejtegetés MICHEL SERRES azon tétele alkalmazásának tekinthető („Leibniz retraduit en langue mathématique.” In: *La Traduction*. Paris, Minuit, 1974), amelyből kitűnik, hogyan tesz szert uralkodó pozícióra minden olyan filozófia, mely a tudomány megítélésére vállalkozik.
- <sup>83</sup> J. RAVETZ *Scientific Knowledge and its Social Problems* (Penguin University Book, 1973) c. művében megvizsgálta az akadémiai bezárkózás következményeit a tudományos gyakorlatra, illetve azokat a súlyos problémákat, amelyekkel ma szembesül a tudomány, ha ki akar törni fedezékéből. Lásd J. BEN DAVID idézett művét is.
- <sup>84</sup> W. FARRAR, „Science and the German University System, 1790—1850.” In: *The Emergence of Science in Western Europe*.

- 85 H. HELMHOLTZ, *Über die Erhaltung der Kraft*. 1847. Közli: S. BRUSH, *Kinetic Theory, I. The Nature of Gases and Heat*. Oxford, Pergamon, 1965 (idézve a 92. lapon). Lásd még Y. ELKANA, *The Discovery of the Conservation of Energy*. London, Hutchinson Educational, 1974; P. M. HEIMANN, „Helmholtz and Kant: the Metaphysical Foundations of »Über die Erhaltung der Kraft«.” In: *Studies in the History and Philosophy of Science*, 5. 1974, 205—238. Helmholtz saját elbeszélése WILHELM OSTWALD *Les grands hommes* (Paris, Flammarion, 1912, eredeti cím: *Die grosse Männer*) c. nagyszerű könyvében olvasható, mely egyszerre von mérleget és illeti kritikával a tudományak a XIX. század folyamán végbement intézményesülését.
- 86 Ezt az álláspontot az energiamegmaradás összefüggésében kell értelmezni (lásd Y. ELKANA idézett művét, valamint e könyv IV. fejezetének 2. szakaszát). Helmholtz és munkatársai mechanisztikus szemlélete — számukra az „életerő” azért nem tárgya a tudományak, mert nem része a természeti energiák invariáns egyensúlyának — megkülönböztetendő Büchner, Moleschott és Vogt harcos mechanisztikus materializmusától, melyet nemrég F. GREGORY elemzett ragyogóan *Scientific Materialism in Nineteenth Century Germany* (Dordrecht-Holland, Reidel, 1977) c. művében.
- 87 *Philosophie de la nature*. 261. szakasz. [Magyarul: *A filozófiai tudományok enciklopédiájának alapvonalai, II. kötet: A természetfilozófia*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1979, 59—62. Ford. Szemere Samu (első kiadás: 1968).]
- 88 Erre a következtetésre jut P. M. KNIGHT, „The German Science in the Romantic Period.” In: *The Emergence of Science in Western Europe*. PETRY jegyzetei a *Természetfilozófia* általa készített fordításához lehetővé teszik, hogy rekonstruáljuk Hegel tudományos forrásait.
- 89 H. BERGSON, *La Pensée et le mouvant*. In: *Oeuvres*. Éd. du Centenaire, Paris, P.U.F., 1970, 1285.
- 90 BERGSON, *idézett mű*, 1287.
- 91 BERGSON, *Idézett mű*, 1286.
- 92 H. BERGSON, *L'Évolution créatrice*. In: *Oeuvres*. 784. [Magyarul: *Teremtő fejlődés*. Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 1930. Újranyomás: 1987. Ford. Dienes Valéria, 310.]
- 93 BERGSON, *idézett mű*, 538. [Magyar ford. 52.]
- 94 BERGSON, *idézett mű*, 784. [Magyar ford. 310.] — Dienes Valéria fordításának felhasználásával.
- 95 BERGSON, *La Pensée et le mouvant*. 1273.
- 96 BERGSON, *idézett mű*, 1274.
- 97 BERGSON, *idézett mű*, 1422.
- 98 *Résumés de Cours 1952—1960*. Paris, Gallimard, 1968, 91.
- 99 WHITEHEAD, *Science and the Modern World*. 55.
- 100 A. N. WHITEHEAD, *Process and Reality. An Essay in Cosmology*. The Free Press, New York, Mac Millan, 1969, 20.
- 101 WHITEHEAD, *idézett mű*, 26. „A sokféle egygé válik és eggyel bővül.”

<sup>102</sup> JOSEPH NEEDHAM és C. H. WADDINGTON elismerték, hogy Whitehead hatással volt kutatásaikra, melyek az organizmus mint egész pozitív leírására irányultak: C.H. WADDINGTON, „The Practical Consequences of Metaphysical Beliefs on a Biologist's Work.” In: *Towards a Theoretical Biology*. 2. Edinburgh, University Press, 1969; *The Ethical Animal*, Midway Reprint, Chicago, University Press, 1975; J. NEEDHAM, „A Biologist's View of Whitehead's Philosophy.” In: *Time, the Refreshing River*. London, Allen and Unwin, 1943. — Itt nem fogjuk részletezni azokat a termékeny hatásokat, melyeket egy matematikai gondolat közvetlen megjelenése válthat ki az élő anyaggal foglalkozó tudományokban. Hadd utaljunk RENÉ THOM nagyszerű módszertani elemzéseire, különösen azzal a lehetőséggel kapcsolatban, hogy egy elvont általános elmélet hozzájárulhat azon kategóriák lerombolásához, amelyeket alkalmazva a tudós — mint bárki más is — szinte öntudatlanul részekre bontja a valóságot.

#### IV. fejezet

<sup>103</sup> B. DE JOUVENEL, *La Civilisation de puissance*, Paris, Fayard, 1976, 11.

<sup>104</sup> A fizikai-kémiai probléma újdonságáról lásd W. L. SCOTT, *The Conflict between Atomism and Conservation Theory*. II. A hő tudományának fejlődéstörténetéről az ipari korban pedig D. S. L. CARDWELL, *From Watt to Clausius*. London, Heinemann, 1971. E két műben megragadható az összefüggés az ipari szükségletek meghatározta igények és a XVIII. század folyamán felhalmozódott problémák pozitivista leegyszerűsítése között. Példának okáért a nyomás fogalmának meghatározása ezentúl annak a kísérleti eljárásnak lesz függvénye, amely lehetővé teszi mérését.

<sup>105</sup> J. HERIVEL, *Joseph Fourier, the Man and the Physicist*. Oxford, Clarendon Press, 1975. Herivel ebben az életrajzban megemlíti egy különös részletet: egyiptomi tartózkodása során Fourier állítólag olyan betegséget kapott, mely állandó hővesztéssel járt...

<sup>106</sup> Különösen figyelemre méltó az Auguste Comte *Philosophie première*-jéhez írott bevezetés (Paris, Hermann, 1975); „Auguste Comte autotraduit dans l'encyclopédie.” In: *La Traduction* (Paris, Minuit, 1974), valamint a *La Distribution* „Felhő” c. szakasza (Paris, Minuit, 1977).

<sup>107</sup> C. SMITH, „Natural Philosophy and Thermodynamics: William Thomson and the Dynamical Theory of Heat.” *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 9, 1976, 293—319, valamint M. CROSLAND — C. SMITH, „The transmission of Physics from France to Britain, 1800—1849.” *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 9, 1978, 1—61.

<sup>108</sup> MICHEL SERRES különösen kiemelte ennek jelentőségét (lásd a 106. jegyzetben említett műveket, valamint a nagyon szép „Turner traduit Carnot” c. írást a *La Traduction*ban).

- <sup>109</sup> Az alábbiakat illetően lásd Y. ELKANA *The Discovery of the Conservation of Energy* c. művét, valamint THOMAS KUHN figyelemre méltó cikkét: „Energy Conservation as an Exemple of Simultaneous Discovery” (először a *Critical Problems in the History of Science*-ban, Ed. M. CLAGETT, majd T. KUHN, *The Essential Tension*. Chicago, The University Press, 1977).
- <sup>110</sup> ELKANA végigkíséri az energia fogalmának lassú előretörését (lásd könyvét, valamint „Helmholtz's Kraft: an Illustration of Concepts in Flux” c. cikkét a *Historical Studies in the Physical Sciences*-ban, vol. 2, 1970, 263–298.).
- <sup>111</sup> J. JOULE, „Matter, Living Force and Heat.” In: *The Scientific Papers of James Prescott Joule*. I. London, Taylor and Francis, 1884, 265–276. — Az idézet a 273. oldalról való.
- <sup>112</sup> Az elbeszélés megtalálható OSTWALD *Les grands hommes*-jában; a könyv a XIX. század ismert tudósai életrajzának elemzéséből kiindulva kutatja a tudósok legmegfelelőbb hatáskóráinak feltételeit, alkalmazva az energetikai elméletet és figyelembe véve a kifáradás és az idegkimerültség veszélyét, mely mindenféle fokozott erő kifejtés esetén fennáll. Hadd hívjuk fel a figyelmet J. LACAN merész olvasatára a *L'Évolution psychiatrique* 2. füzetében (1948, 72).
- <sup>113</sup> MAYER két nagy cikkének angol fordítása megtalálható az *Energy: Historical Development of the Concept* c. műben (Ed. R. B. LINDSAY, *Benchmark Papers on Energy*. I. Pennsylvania, Dowden, Hutchinson and Ross, 1975): „On the Forces of Inorganic Nature” és „The Motions of Organisms and their Relation to Metabolism”.
- <sup>114</sup> Lásd a 85. jegyzet hivatkozásait (III. fejezet), valamint E. BENTON, „Vitalism in the Nineteenth Century Scientific Thought: A Typology and Reassessment.” *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 5, 1974, 17–48.
- <sup>115</sup> HELMHOLTZ, *Über die Erhaltung der Kraft*. 90–91.
- <sup>116</sup> J. LACAN, *Le Moi dans la théorie de Freud et dans la technique de la psychanalyse*, Séminaire II, 1954–1955, Paris, Seuil, 1978. Lacan már 1932-i disszertációjában is kiemelte az energiafogalom lényegi jelentőségét, méghozzá meyersoni nézőpontból, s — kell-e mondanunk? — teljes összhangban a Koyré utáni irodalommal.
- <sup>117</sup> *Feux et signaux de brume*. Zola. Paris, Grasset, 1975.
- <sup>118</sup> G. DELEUZE, *Nietzsche et la philosophie*. Paris, P.U.F., 1973, 48–55.
- <sup>119</sup> Zola „Pascal doktor”-áról szóló tanulmányában (*Feux et signaux de brume*, 109.) MICHEL SERRES ezt írja: „A regény annak a századnak a végén vagy majdnem a végén jelent meg, amely a Naprendszer fölséges stabilitásának jegyében kezdődött, de amelyet most aggodalom tölt el a tűz kérlelhetetlen rombolása láttán. Ebből származik a következő tényleges és kegyetlen dilemma: választani kell a tökéletes, kihagyás nélküli, megfordítható, örök és értékkel felruházott ciklus, a Nap kozmológiája, vagy a hibás, különbségeit elvesztő, megfordíthatatlan, történelmi jellegű és érték nélküli ciklus, a tűz kozmogóniája avagy termogóniája között, s ennek a tűznek vagy ki kell aludnia, vagy rombolnia kell, kérlelhetetlenül. Laplace-ról álmodunk, amikor Carnot és mások örökre össze-

- törték a dobozt, a fészket, amelyben nyugalomban szenderegthettünk, róla álmodunk, bizony: s ekkor a kulturális archaizmusok, melyek egy másik ajtón, ugyanazon ajtó egy másik nyílásán visszazüremlettek, hatalmas erővel újra felelevenednek: de vajon halhatatlan lángként, megtisztító parázként vagy gonosz tűzként?”
- <sup>120</sup> A gondolati leszármazásra CARDWELL és W. L. SCOTT hívja fel a figyelmet, az előbbi a *From Watt to Clausius*, az utóbbi a *The Conflict between Atomism and Conservation Theory* c. művében.
- <sup>121</sup> Nevezetesen azt kellett felismerni, hogy — ellentétben azzal, ami a mechanikában történik — egy termodinamikai rendszer valamely tetszőlegesen megadott helyzete nem feltétlenül alkotja a rendszer egy állapotát. E. DAUB „Entropy and Dissipation” c. cikkében (*Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 2, 1970, 321—354.) elemzi azt a számos félreértést, amelyet Thomson és Tait követtek el Clausius entrópiájával kapcsolatban, mielőtt az állapotfüggény tulajdonságait alaposan megértették volna.
- <sup>122</sup> MAX PLANCK említi (*Autobiographie scientifique*. Paris, Albin Michel, 1960), hogy mennyire magára maradt, amikor hangsúlyozva a hő egyedi jellegét felhívta a figyelmet arra, hogy a problémát a hő más energiává való átalakulása okozza. Az energiával foglalkozók, mint Ostwald, minden energiafajának ugyanazt a szerepet szánták. Számukra egy test esése lényegileg ugyanolyan természetű különbség kifejeződését jelentette, mint a hő áramlása két, különböző hőmérsékletű test között: ez az egyenlősítés eltörölte a különbséget egy *ideálisan megfordítható* folyamat — mint a mechanikai mozgás — és egy *lényegénél fogva megfordíthatatlan* folyamat — mint a hő terjedése — között. Ezzel az energetikusok ténylegesen igen közel kerültek ahhoz az állásponthoz, amelyet Lagrange esetében láttunk. Ahelyett, hogy hozzá hasonlóan az *energiamegmaradásban* csupán az ideális esetek jellemzőjét látták volna, mely azonban *egyedüli* lehetséges tárgya a szigorú vizsgálódásnak, az *energiamegmaradást* megtették *minden* fizikai-kémiai átalakulás tulajdonságának, miközben az *energia-különbségek megmaradásában* (mely minden átalakuláshoz szükséges, hiszen csak energiakülönbség hozhat létre újabb különbséget) nem láttak mást, mint „eszményi esetet, amely egyedüli lehetséges tárgya a szigorú tudományos vizsgálódásnak”.
- <sup>123</sup> M. PLANCK, *Initiations à la physique*. Paris, Flammarion, 1941, 18—19.
- <sup>124</sup> A fizikai kémiában az Avogadro-féle számot használják, vagyis azt a számot, amely az anyag egy „móljában” lévő molekulák számát adja meg (minden „mól” ugyanannyi számú részecskét tartalmaz: ez a hidrogénatomok száma egy grammnyi mennyiségben). Ennek a számnak a nagysága  $6 \times 10^{23}$ , s ez az a nagyságrend, amely a klasszikus termodinamika törvényei által szabályozott rendszerek részecskéinek számát jellemzi.
- <sup>125</sup> ABEL REY *Le Retour éternel et la philosophie de la physique* (Paris, Flammarion, 1927) c. könyvében elbeszéli mindazon erőfeszítéseket, amelyeket a XIX. század fizikusai kifejtettek annak érdekében, hogy megkerüljék a megfordíthatatlanság pragmatista meghatározását (a hasznosítható energia disszipációja), és végül

kimutatja: Boltzmann úgy oldja meg a problémát, hogy (mint látni fogjuk) a hasznosítható energiát azonosítja a valószínűtlen állapottal.

- <sup>126</sup> A logaritmikus viszony azt a tényt fejezi ki, hogy az entrópia additív mennyiség ( $S_{1+2} = S_1 + S_2$ ), míg a komplexiós számok multiplikatívok ( $P_{1+2} = P_1 \times P_2$ ).
- <sup>127</sup> J. W. GOETHE, *Faust, Második rész*. Budapest, Új Magyar Könyvkiadó, 1956, 117. Ford. Kálnoky László.
- <sup>128</sup> R. CAILLOIS, „La dissymétrie.” In: *Cohérences aventureuses*. Paris, Gallimard, Idées collection, 1973, 198.

## V. fejezet

- <sup>129</sup> Az e fejezetben előadott termodinamikai elméletre és a következő fejezet gondolatmenetére lásd G. NICOLIS — I. PRIGOGINE, *Self-Organization in Non Equilibrium Systems*. New York, Wiley-Interscience, 1977; P. GLANSDORFF — I. PRIGOGINE, *Structure, stabilité et fluctuations*. Paris, Masson, 1971.
- <sup>130</sup> VÖ. F. NIETZSCHE, *Der Wille zur Macht, Sämtliche Werke*. Stuttgart, Kröner, 1964, 630. aforizma. [Magyarul: *Aforizmák*, Budapest, Lampel, 1910. Ford. Schöpflin Aladár.]
- <sup>131</sup> Milyen tényleges fizikai tartalom adható az entrópiánövekedés általános törvényének? Melyek azok a folyamatok, amelyek megfordíthatatlan módon növelik az entrópiát? Egy olyan matematikus-fizikus számára, mint De Donder, az anyag kémiai aktivitása olyannyira megközelíthetetlennek látszott, hogy a racionális mechanika „ellentettpárjának” tűnt fel. Így kapcsolódott össze, ezentúl megkerülhetetlen kihívásként, a Goethe *Vonzások és választások*­jában (melyet De Donder gyakran olvasgatott) megjelenített kémia — az a kémia, amelynek kérdéseire a fizikusok soha nem tudtak igazi válaszokat adni — a megfordíthatatlanság jelenkori rejtélyével. Lásd még I. PRIGOGINE — I. STENGERS, „Les Deux cultures aujourd'hui.” *La Nouvelle Revue Française*, 1979, No. 316, 42—54.
- <sup>132</sup> *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*.
- <sup>133</sup> A. GOLDBETER — G. NICOLIS, „An Allosteric Model with Positive Feedback Applied to Glycolytic Oscillations.” *Progress in Theoretical Biology*, vol. 4, 1976, 65—160., valamint A. GOLDBETER — S. R. CAPLAN, „Oscillatory Enzymes.” *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, vol. 5, 1976, 449—473.
- <sup>134</sup> A. GOLDBETER — L. A. SEGEL, „Unified Mechanism for Relay and Oscillation of Cyclic AMP in Dictyostelium discoideum.” *Proceedings of the National Academy of Science USA*, vol. 74, 1977, 1543—1547.
- <sup>135</sup> Lásd például A. WINFREE cikkét: „Rotating Chemical Reactions.” *Scientific American*, vol. 230, 1974, 82—95.
- <sup>136</sup> Több mint húsz évvel ezelőtt Waddington olyan embriófejlődési modellt javasolt, amely egyfajta elágazó fejlődést írt le, egyfajta fokozatos felfedezését — melynek során létrejön az embrió — az „epigenetikus” környezetnek, ahol egymást követik a kanalizált fejlődés területei (a kreódok) és azok a zónák, amelyekben választás lehetséges többféle fejlődési út között. A kreód stabilitása (a „csatorna”

falainak többé-kevésbé függőleges jellemzője) azt méri, hogy a szelekciós nyomás — ha előnyben részesítette a biztonságot és a sztereotípiát ennek vagy annak a jellemzőnek a felépítésében — ennek az építkezésnek a során mennyiben csökkentette a környezet szerepét. A Waddington feltételezte kreodikus stabilitás tehát nem azonos egy általában nyitott kémiai rendszer stabilitásával, hanem sajátos eset, mely az adott sokaságra érvényesülő szelekciós nyomás által támasztott sajátos követelmények eredője. Lásd C. H. WADDINGTON, *The Strategy of the Genes*. London, Allen and Unwin, 1957.

<sup>137</sup> BERGSON, *L'Évolution créatrice*. 571 [Magyarul: *Teremtő fejlődés*. Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 1930. Újranyomás: 1987. Ford. Dienes Valéria, 86—87.]

<sup>138</sup> A felelősség és a célszerűség kérdésének jelentősége, viszonylagos előtérbe kerülése ahhoz a kétségkívül szintén — bár másképpen — termékeny kihíváshoz képest, amelyet az élő formák és változásuk részletekbe menő leírása jelentett volna, vitathatatlanul egyike azon pontoknak, amikor drágán kellett megfizetni azért az azonosításért, amelyet a klasszikus tudomány az ismeret és az ellenőrzés, avagy befolyásolás között végrehajtott.

<sup>139</sup> P. WEISS, *L'Archipel scientifique*, Paris, Maloine, 1974) és C. H. WADDINGTON, különösen a *Towards a Theoretical Biology* című mű I. és II. kötete, (Edinburgh, The University Press, 1968 és 1969). A bírálat természetesen a genetikai „burok” elképzelésére is érvényes.

## VI. fejezet

$$^{140} \langle X \rangle = 1/k \sum_{i=1}^k X_i.$$

$$^{141} \langle (X-N/2)^2 \rangle = 1/k \sum_{i=1}^k (X_i - N/2)^2.$$

<sup>142</sup> J. L. DENEUBURG, „Application de l'ordre par fluctuation à la description de certaines étapes de la construction du nid chez les termites.” *Insectes sociaux*. *Journal international pour l'étude des arthropodes sociaux*, XXIV. 2. szám, 1977, 117—130.

<sup>143</sup> R. M. MAY, *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton, The University Press, 1973.

<sup>144</sup> G. TARDE, *Écrits de psychologie sociale*. Pub. A. M. ROCHEBLAVE-SPENLE — J. MILET, Toulouse, Privat, 1973, 191.

<sup>145</sup> L. ARNOLD — W. HORSTHEMKE — R. LEFEVER, „White and Coloured External Noise and Transition Phenomena in Non Linear Systems.” *Zeitschrift für Physik B*, vol. 29, 1978, 367—373. Egy egyedi biológiai esetre alkalmazva pedig lásd R. LEFEVER — W. HORSTHEMKE, „Bistability in Fluctuating Environments. Implications in Tumor Immunology.” *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 41, 1979.

<sup>146</sup> P. ALLEN, „Darwinian Evolution and a Predator-Prey Ecology.” *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 37, 1975, 389—405. és „Evolution, Population and Stability.” *Proceedings of the National Academy of Science USA*, vol. 73, 3. szám, 1976, 665—668., valamint R. CZAPLEWSKI, „A Methodology for

- Evaluation of Parent-Mutant Competition." *Journal of Theoretical Biology*, vol. 40, 1973, 429—439.
- <sup>147</sup> E kutatások összefoglalóját lásd: M. EIGEN — P. SCHUSTER, *The Hypercycle*, Berlin, Springer, 1979.
- <sup>148</sup> E. W. MONTROLL, „Social Dynamics and the Quantifying of Social Forces." *Proceedings of the National Academy of Science USA*, vol. 75, No. 10, 1978, 4633—4637.
- <sup>149</sup> P. ALLEN — M. SANGLIER, „Dynamic Models of Urban Growth." *Journal for Social and Biological Structures*, vol. 1, 1978, 265—280.
- <sup>150</sup> Gyakran felemlgették, hogy az agy fejlődése a fellelhető leglátványosabb példája a környezeti követelményeken túllépő evolútív folyamatnak. Ugyanis őseinktől a környezet nem kívánhatta meg ugyanazokat a viselkedésformákat, amelyekre ma kényszerít bennünket. Erre vonatkozólag lásd S. H. WASHBURN cikkét („The Evolution of Man." *The Scientific American*, vol. 239, September 1978, 194—208), amelyben ez áll: „Az agy, mellyel az ember mostanában kezdi megérteni saját hosszú biológiai múltját, olyan körülmények között fejlődött ki, amelyek már régóta nem léteznek. Ez az agy pár millió évig egyszerre fejlődött méretében és idegrendszeri bonyolultságában. Ezen időszak alatt őseinknek eleget kellett tenniük annak a mindennapos követelménynek, hogy igen korlátozott értesülések alapján cselekedjenek és reagáljanak. Mi több, ezeknek az információknak nagy része téves volt... Mégis, ez ugyanaz az agy, mint amely a jelenkori matematika és fizika legkifinomultabb kérdéseivel foglalkozik" (194. lap).
- <sup>151</sup> J.-L. DENEUBURG — P. M. ALLEN, „Modèles théoriques de la division du travail dans les sociétés d'insectes." *Académie royale de Belgique, Bulletin de la Classe des Sciences*, vol. LXII. 1976, 416—429.; ALLEN, idézett mű és „Evolution in an Ecosystem with Limited Resources." *Académie royale de Belgique, Bulletin de la Classe des Sciences*, vol. LXII. 1976, 408—415.
- <sup>152</sup> Úgy látszik, az együttes fejlődés szerepéhez jutott a növények és a rovarok közös történetében. Ismerjük sikeres alkalmazását a növényi megtermékenyítés problémájára, de van egy újabban felderített dimenzió is, mégpedig az a valóságos eszkaláció, amely a növények és rovarok „vegyszerháborújában" tapasztalható. Sok növény bőséggel tartalmaz mérgező „másodlagos anyagokat", amelyeknek az anyagcserében betöltött szerepe nem volt tisztázott. Tényleges szerepük gyakran az, hogy védelmet nyújtsanak a rovarok és más fűvők ellen. S az eszkaláció beindul: egy rovarfajnak sikerül beépítenie anyagcseréjébe a mérget, és így megszerezve egy tápanyagforrás fölött a kizárólagos uralmat, annak „specialistájává" válik, s ezentúl *vonzza* a méreg. A méreg összegyűlik a mirigyekben, és néha védelmet biztosít a madarak ellen, más, vegyileg ártalmatlan rovarok pedig hasonlóságot fejlesztenek ki az előbbiekkal, hogy így részessüljenek a madarak undora következtében keletkezett védelemből. Erre lásd: P. EHRlich — P. RAVEN, „Butterflies and Plants." *The Scientific American*, vol. 216, 1967, 104—113, valamint G. S. FRAENKEL klasszikus cikkét: „The Reason d'Être of Secondary Plant Substances." *Science*, vol. 129, 1959, 1466—1470.



- <sup>153</sup> „Humanisme et Humanité.” In: *Anthropologie structurale II*, Paris, Plon, 1973, 368—369.
- <sup>154</sup> „Méthode et enseignement.” In: *Anthropologie structurale*, Paris, Plon, 1958, 311—317.
- <sup>155</sup> „Nincs olyan, hogy valami csupán »akármilyen« lenne.” — Idézi: NEEDHAM, *Time, the Refreshing River*. 183.
- <sup>156</sup> F. JACOB, *La Logique du vivant*. Paris, Gallimard, 1970, 320—321. [Magyarul: *A tyúk és a tojás. Az élők logikája*. Budapest, Európa, 1974, fordította Vekerci László]
- <sup>157</sup> Például G. DELEUZE és F. GUATTARI az *Anti-Oedipe* (Paris, Minuit, 1972) egyik igen szép szövegében egyenrangúként állítják egymás mellé az egyszerű strukturális egységként, másrészt egyedi és specifikus egységként felfogott szervezet képét (mechanisztikus, illetve vitalista felfogás; 336—340). Vagyis egy olyan kiterjesztett (vagy széttobbantott) funkcionalista perspektívát javasolnak, amely elég közel áll az itt vázolt elméletek következményeihez.

## VII. fejezet

- <sup>158</sup> „Ha a doktrínák ütköznek egymással, az nem katasztrófa, hanem kihasználható esély.” — WHITEHEAD, *Science and the Modern World*. 186.
- <sup>159</sup> Erre lásd: S. BRUSH, *The Kind of Motion we Call Heat*. I.; *Physics and the Atomists*. II.; *Statistical Physics and Irreversible Processes*. Amsterdam, North Holland Pub. Comp., 1976, valamint ugyane szerzőtől a következő, kommentárokkal ellátott antológiát: *Kinetic Theory*, 1.; *The Nature of Gases and Heat*. 2.; *Irreversible Processes*, Oxford, Pergamon Press, 1965—1966. Kiváló feldolgozása még a témának C. C. GILLIPSIE, „Intellectual Factors in the Background of Analysis by Probability.” In: *Scientific Change*. Ed. A. CROMBIE. New York, Basic Books, 1963.
- <sup>160</sup> Mint ahogy Y. ELKANA felhívja rá a figyelmet („Boltzmann's Scientific Research Program and its Alternatives.” In: *Interaction Between Science and Philosophy*, Atlantic Highlands, New Jersey, Humanity Press, 1974), az evolúció darwini gondolata részletesen előkerül Boltzmann-nál, főleg a megismerésről kidolgozott elméleteiben, de abból is egyértelműen kitűnik, ahogyan megvédi a mechanikai modelleket az energetisták ellenében. Lásd például „A termodinamika második törvénye” című 1886. évi előadását a *Populäre Schriften*ben (angol fordításban megjelent B. MCGUINNESS kiadásában, *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, Dordrecht-Holland, Reidel, 1974).
- <sup>161</sup> *Tudományos önéletrajzában* PLANCK leírja, hogy kapcsolata mennyire változó volt Boltzmann-nal (aki eleinte ellenségesen fogadta Planck fenomenológiai különbségtételét megfordíthatóság és megfordíthatatlanság között). Erről lásd még ELKANA, *idézett mű*, valamint BRUSH, *Statistical Physics and Irreversible Processes*, 640—651. Einsteinről: ugyane mű 672—674. Schrödingert illetően pedig: E. SCHRÖDINGER, *Science, Theory and Man*, New York, Dover, 1957.

- 162 H. POINCARÉ, „La mécanique et l'expérience.” *Revue de Métaphysique et de Morale*, vol. I, 1893, 534—537.
- 163 Erről lásd BRUSH idézett művét, valamint PLANCK (Loschmidt mestere) megjegyzéseit *Tudományos önéletrajzában*.
- 164 BRUSH, *idézett mű*, 616—625.
- 165 Lásd például: E. T. JAYNES, „Gibbs vs Boltzmann Entropies.” *American Journal of Physics*, vol. 33, 1965, 391—398.
- 166 A démon J. C. MAXWELL *Theory of Heat* című művének XXII. fejezetében jelenik meg (London, Longmans, 1871). A maxwelli démonról lásd E. E. DAUB, „Maxwell's Demon.” In: *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. I, 1970, 213—227. és ugyanebben a Maxwellnek szentelt kötetben: P. HEIMANN, „Molecular Forces, Statistical Representation and Maxwell's Demon.” 189—211.
- 167 A *Différence et répétition*-ban (Paris, P.U.F., 1972, 288—314.) GILLES DELEUZE kimutatja a tudomány/józan ész/filozófia szövetségét, mely mindaddig érvényesült, míg a mindent megmagyarázó, de semmit nem tükröző második alapelv pusztá általánosság maradt. *Az egyensúlyi termodinamika keretein belül* (melynek a megfordíthatatlanságra csak az egyensúlyi állapotok stabilitásának biztosításához van szüksége) az egységes álláspontot valójában az energetizmus általa bemutatott nietzschei változata képviselte.
- 168 Úgy látszik, hogy sok marxista természetfilozófus ENGELSBŐL merít (LENIN is hivatkozik rá a *Filozófiai füzetekben*), aki az *Anti-Dühringben* (Paris, Éditions Sociales, 1971, 150) azt írta, hogy „Maga a mozgás ellentmondás: már az egyszerű mechanikai helyváltoztató mozgás is csak azáltal mehet végbe, hogy valamely test egy és ugyanazon időpontban egy helyen és egyszermind egy másik helyen, egy és ugyanazon a helyen és nem azon a helyen van”. [Magyarul: *Eugen Dühring úr tudomány-forradalmasítása. Karl Marx és Friedrich Engels Művei*. 20. köt. 118. Budapest, Kossuth Könyvkiadó, 1963.]

### VIII. fejezet

- 169 Ezzel kapcsolatban lásd BRUSH, *Statistical Physics and Irreversible Processes*. 616—625.
- 170 Azon hipotézisekről, amelyek lehetővé teszik, hogy kipróbáljunk bizonyos, rejtett változókat feltételező modelleket, lásd: B. D' ESPAGNAT, *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*. 2. (bővített kiadás) Reading Massachusetts, Benjamin, 1976.
- 171 L. FEUER eléggé meggyőző módon kimutatta (*Einstein et le conflit des générations*. Bruxelles, Complexe, 1978), hogy Bohr ifjúkorának kulturális környezete miképpen könnyíthette meg számára azt a döntést, hogy modelljébe kifejezetten nem mechanikai posztulátumokat illesszen.
- 172 W. HEISENBERG, *La Partie et le tout*. Paris, Albin Michel, 1972. [Magyarul: *A rész és az egész*. Budapest, Gondolat Kiadó, 1975. Ford. Falvay Mihály.] és D. SERWER, „Unmechanischer Zwang: Pauli, Heisenberg and the Rejection of the

Mechanical Atom, 1923—1925.” *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 8, 1977, 189—256.

<sup>173</sup> — A komplementaritás elvét, jelentőségét és nehézségeit lásd ESPAGNAT, *idézett mű*, valamint *Conception de la physique contemporaine*. Paris, Hermann, 1965; M. JAMMER, *The Philosophy of Quantum Mechanics*. New York, Wiley, 1974; A. PETERSEN, *Quantum Mechanics and the Philosophical Tradition*. Boston, MIT Press, 1968.

<sup>174</sup> Rosenfeld különösen hangsúlyozta annak a gondolatnak a materialista dimenzióját, hogy a világot csak megfordíthatatlan kölcsönhatásokból ismerhetjük meg. Lásd L. ROSENFELD, „L'évidence de la complémentarité.” In: *Louis de Broglie, physicien et penseur*. Paris, Albin Michel, 1953; „The Measuring Process in Quantum Mechanics.” *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, 1965, 222, valamint az *Observation and Interpretation* című kollokvium teljes anyaga (Ed. S. KÖRNER. London, Butterworth's Scientific Publications, 1957).

<sup>175</sup> E paradoxonokra lásd JAMMER és D'ESPAGNAT műveit. Figyelemre méltó, hogy e paradoxonok mindegyike (Wigner barátja, Schrödinger macskája, többszörös univerzumok) — látszólag forradalmi módon — a jelen esetben a Schrödinger-egyenletben megtestesülő „objektív és zárt” elmélet örök főnixét eleveníti fel, persze mindegyikük a maga módján. A klasszikus ész megannyi lidércnyomása!

## IX. fejezet

<sup>176</sup> Általános áttekintés céljából lásd: J. LEBOWITZ — O. PENROSE, „Modern Ergodic Theory.” *Physics Today*, February 1973, 23—29. Részletesebben: R. BALESCU, *Equilibrium and Non-equilibrium Statistical Mechanics*. New York, Wiley, 1975.

<sup>177</sup> V. I. ARNOLD — A. AVEZ, *Problèmes ergodiques de la mécanique classique*. Paris, Gauthiers Villars, 1967.

<sup>178</sup> H. POINCARÉ, *Les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. New York, Dover, 1957 és E. T. WHITTAKER, *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*. Cambridge, University Press, 1937.

<sup>179</sup> J. MOSER, *Stable and Random Motions in Dynamical Systems*. Princeton, University Press, 1974.

<sup>180</sup> H. POINCARÉ, „Le Hasard.” In: *Science et méthode*. Paris, Flammarion, 1914, 65.

<sup>181</sup> Az  $L$  operátor alakja:  $L = i(\partial H/\partial q \partial/\partial p - \partial H/\partial p \partial/\partial q)$ .

<sup>182</sup> Az itt következők részletesebb kifejtése és más hivatkozások tekintetében lásd: I. PRIGOGINE, *From Being to Becoming*. San Francisco, Freeman, 1979 (franciául: Éditions Masson, 1980).

<sup>183</sup> Voltaire, *Filozófiai ábécé*. Budapest, Európa Kiadó, 1983, 446—451. Ford. Gyergyai Albert és Réz Pál.

<sup>184</sup> Emlékezzünk csak vissza:  $\int \rho M p \, dp \, dq = \int \rho \Lambda \lambda p \, dp \, dq = \int (\rho)^2 \, dp \, dq$ .

<sup>185</sup> C. GEORGE — I. PRIGOGINE, *Coherence and Randomness in Quantum Theory* (1979).

- 186 Könyvünk tehát — több-kevesebb sikerrel — a kultúra strukturalistának nevezett hullámához kapcsolódik. Nem ér bennünket meglepetésként, hogy számos témánk megjelenik azoknál a szerzőknél, akik érzékenyek a „felbomlott én” problematikájára. Ez a statisztikai vagy molekuláris strukturalizmus (A. Moles, Cl. Lévi-Strauss, J. Lacan, R. Jakobson) meglepő rokonságban áll az 1900-as évek nagy pozitivistá áramlatának élvonalával (lásd például G. WUNBERG, *Der Frühe Hofmannstahl*. Stuttgart, W. Kohlhammer Verlag, 1965). Azok a szoros logikai viszonyok, amelyek más szerzők elemzéseiben összetartják a különböző részeket, szerintünk abból a molekuláris szellemből eredeztethetők, amely a Foucault műveinek episztemológiai alapjait és Piaget írásainak kognitív struktúráit alkotó nagy kulturális tárgyakat jellemzi (erről lásd I. PRIGOGINE, „Genèse des structures en physico-chimie.” In: *Épistémologie génétique et équilibraton*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1977). Ám ezek a szerzők nem oldják meg azt a problémát, hogy vajon az elemzés során tekintetbe vett tárgyak (komplexumok, formák, struktúrák stb.) milyen viszonyban állhatnak a többé-kevésbé lényegi részüket alkotó zavarokkal, zajokkal, folyamatokkal. A matematikus azt fogja mondani, hogy ez az *algebrai struktúrák* és a *nagy számok* kapcsolatának problémája. Az utóbbiak az infinitezimális analízissel vizsgálhatók, vagy pedig valamilyen módon kicsúsznak a számítások hálójából: itt azt látjuk, hogy a Musil által a nem-elégséges okról mondottak a feje tetejére állítják az elegendő ok leibnizi elvét. Az olvasót nem fogja meglepetésként érni, ha ezúttal is M. Serres munkáira hivatkozunk.
- 187 S. BRUSH, „Irreversibility and Indeterminism: from Fourier to Heisenberg.” *Journal of the History of Ideas*, vol. 37, 1976, 603—630.
- 188 S. MOSCOVICI, „Quelle unité de l'homme?” 297—298. Lásd még a 7. jegyzetet is.
- 189 A szöveg megtalálható: H. BERGSON, *Mélanges*. Paris, P.U.F., 1972, 1340—1346.
- 190 *Correspondance Albert Einstein—Michele Besso, 1903—1955*. Paris, Hermann, 1972.
- 191 Lásd az *Encyclopedia Universalis* „Husserl” szócikkét (Paris, 1971) HUSSERL „La crise de l'humanité européenne et la philosophie”-jával együtt a Paulet-féle újraközlésben (Paris, 1975). Ez a kis írás arról tanúskodik, hogy „a Nyugat küldetésének” gondolata nem a természettudósok kiváltsága.
- 192 M. MERLEAU-PONTY, *Résumés de Cours, 1952—1960*. Paris, Gallimard, 1968, 119.
- 193 M. MERLEAU-PONTY, „Le philosophe et la sociologie.” In: *Éloge de la philosophie*. Collection Idées, Paris, Gallimard, 1960, 136—137.
- 194 Az itt következők kapcsán lásd még I. PRIGOGINE — I. STENGERS — S. PAHAUT, „La dynamique de Leibniz à Lucrèce.” *Critique*, vol. 35, janvier 1979 35—55.
- 195 Hadd utaljunk itt I. LECLERC *Whitehead's Metaphysics* című könyvére (Bloomington, Indiana University Press, 1975).
- 196 E távlatok kifejtését lásd I. PRIGOGINE, *From Being to Becoming*. San Francisco, Freeman, 1979.
- 197 WHITEHEAD, *Process and Reality*. 240—241.

- <sup>198</sup> SERRES, *La Naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*. 139.
- <sup>199</sup> „Végre, ha minden mozgás egy egységbe szövődik, / És egymásra aként jönnek, mint láncszem a láncban, / S elhajlásukkal sem nyitnak az őselemek meg / Oly mozgást, mely megtörné a végzet uralmát, / Hogy ne következék ok az okra örökkön örökké: / Honnan eredhet az élő lényeknek szabad és a / Sorstól mintegy elszakított akarata e földön [...]?” (LUCRETIUS, *A természetről*. Budapest, Alföldi Magvető, 1957, 51. Ford. Tóth Béla).
- <sup>200</sup> SERRES, *idézett mű*, 136.
- <sup>201</sup> SERRES, *idézett mű*, 162.
- <sup>202</sup> T. KUHN, *The Structure of Scientific Revolutions*. 2., bőv. kiadás, Chicago, The University Press, 1970; [Magyarul: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Budapest, Gondolat Kiadó, 1984, Ford. Biró Dániel.]
- <sup>203</sup> MERLEAU-PONTY, *Résumé de Cours 1952—1960*. 117—118.
- <sup>204</sup> WHITEHEAD, *Process and Reality*. 20.
- <sup>205</sup> DELEUZE, *Différence et répétition*. 4.
- <sup>206</sup> DELEUZE, *idézett mű*, 284.
- <sup>207</sup> DELEUZE, *idézett mű*, 283.
- <sup>208</sup> DELEUZE, *idézett mű*, 282.
- <sup>209</sup> SERRES, *idézett mű*, 85—86, valamint „Roumain et Faulkner traduisent l'Écriture.” In: *La Traduction*. Paris, Minuit, 1974.
- <sup>210</sup> A. NEHER, „Vision du temps et de l'histoire dans la culture juive.” In: *Les cultures et le temps*. Paris, Payot, 1975, 179.

### I. Függelék

- <sup>211</sup> *The Philosophy of Rudolf Carnap*, P. A. SCHLIPP, Cambridge, University Press, 1963.
- <sup>212</sup> *Albert Einstein: Philosopher—Scientist*, P. A. SCHLIPP, Evanston, Illinois, Library of Living Philosophers, 1949, 688.
- <sup>213</sup> Ezt a megoldást alkalmazza Ekeland *Le calcul et l'imprévu* című könyvében (Paris, Seuil, 1984).
- <sup>214</sup> P. DUHEM, *La théorie physique, son objet, sa structure*. Újabb kiadás: Paris, Vrin, 1981, 214.
- <sup>215</sup> P. DUHEM, *id. mű*, 211.
- <sup>216</sup> B. MISRA — I. PRIGOGINE — M. COURBAGE, „From Deterministic Dynamics to Probabilistic Descriptions.” *Physica*, vol. 98A, 1979, 1—26; I. PRIGOGINE — Y. EYSKENS, „Irreversibility, Stochasticity and Non-Locality.” Megjelenés előtt egy David Bohmnek ajánlott kötetben (London, Routledge and Kegan Paul, 1986).
- <sup>217</sup> M. COURBAGE — I. PRIGOGINE, „Intrinsic Randomness and Intrinsic Irreversibility in Classical Dynamical Systems.” *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*, vol. 80, 1983, 2412—2416.; I. PRIGOGINE — C. GEORGE, „The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems.” *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*, vol. 80, 1983, 4590—4594.

## II. Függelék

- 218 S. FREUD, *Introduction à la psychanalyse*, Paris, Petite Bibliothèque Payot, 1975, 266. [Magyarul: *Bevezetés a pszichoanalízisbe*, Budapest, Gondolat, 1986, 234. Ford. Hermann Imre (1932).]
- 219 P. GRASSBERGER — I. PROCACCIA, *Physica*, 9D, 1983, 189—208.
- 220 C. NICOLIS — G. NICOLIS, „Is there a Climatic Attractor?” *Nature*, vol. 311, 1984, 529—532.
- 221 J. PERRIN, *Les Atomes* Paris, Gallimard, 1970, 15—18.
- 222 Lásd különösen M. MALEK MANSOUR — C. VAN DEN BROECK — G. NICOLIS — J. W. TURNER, „Asymptotic Properties of Markovian Master Equations.” *Annals of Physics*, vol. 131, 1981, 283—313.
- 223 M. MALEK MANSOUR, előkészületben.
- 224 Lásd D. K. KONDEPUDI — I. PRIGOGINE, *Physica*, vol. 107A, 1981, 1—24.; D. K. KONDEPUDI, *Physica*, vol. 115A, 1982, 552—566.
- 225 R. LEFEVER — W. HORSTHEMKE, „Multiple Transitions Induced by Light Intensity Fluctuations in Illuminated Chemical Systems.” *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*, vol. 76, 2490—2494.; R. LEFEVER — W. HORSTHEMKE, *Noise-Induced Transitions Theory and Applications to Physics, Chemistry and Biology*, Berlin, Springer Verlag, 1984.







A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda igazgatója  
A számítógépes szerkesztést a W & T Consulting Kft. végezte

Felelős vezető: Werner Gábor

A nyomdai munkálatokat  
az Akadémiai Kiadó és Nyomda végezte

Felelős vezető: Zöld Ferenc

Budapest, 1995

Nyomdai táskaszám: 24464

Felelős szerkesztő: Bártfai László

Műszaki szerkesztő: Kerek Imréné

A fedéltervet készítette: Hodosi Mária

Megjelent 18,63 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0238-9711





Ára: 896,- Ft áfával

# HERMÉSZ KÖNYVEK

---

Ilya Prigogine, a Nobel-díjas természettudós és szerzőtársa, Isabelle Stengers az elmúlt három évszázad természetfilozófiáját szemlélve áttekintve új természetfilozófiát körvonalaznak. Álláspontjuk szerint „az irreverzibilitásnak a természetben alkotó szerepe van, hiszen spon-tán szerveződési folyamatokat tesz lehetővé. A fizikán belül az irre-verzibilis folyamatok tudománya visszaállította jogaiba a tevékenység-és önszaporító struktúrákat létrehozó természet gondolatát. ... A mindentudó mitikus démon, amelyről azt tartották, hogy képes a pil-lanatnyi állapotból kiindulva kiszámítani a jövőt és a múltat, nem lé-teznek többé. Ismét olyan világban találjuk magunkat, amelyben a ki-iktathatatlan véletlenszerűség az úr, olyan világban, amelyben a meg-fordíthatóság és a meghatározottság csak kivételes eset, s ahol a mik-roszkopikus megfordíthatatlanság és meghatározatlanság a fő szabály.”

E vakmerő és érdekes könyvről joggal írta egyik méltatója, L. Apostel: „Egyetlen filozófus sem engedheti meg magának, hogy ne olvassa el.”

## MEGJELENT

*Bálint Mihály:* Az östörés. A regresszió terápiás vonatkozásai

*Bodrog Miklós:* Álmaink barlangvilága. C. G. Jung nyomában

## ELŐKÉSZÜLETBEN

*Gaston Bachelard:* A nem filozófiája

ISBN 963 05 6921 3



9 789630 569217

---

Akadémiai Kiadó, Budapest

508673

*Ilyse Prigogine - Isabelle Stengers*

AZ ÚJ SZÖVEZETSÉG