

Osiris könyvtár



Filozófia

Sorozatszerkesztő
Boros Gábor
Geréby György

THOMAS S. KUHN

A tudományos forradalmak szerkezete

Osiris Kiadó • Budapest, 2000

A fordítás az alábbi mű alapján készült

Thomas S. Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions*
Second Edition, Enlarged. International Encyclopedia of Unified
Science, University of Chicago Press, Chicago, 1970
Licensed by The University of Chicago, Chicago, Illinois, USA

Fordította
BÍRÓ DÁNIEL

Az utószót írta
FEHÉR MÁRTA

TARTALOM

Előszó	7
I. BEVEZETÉS: A TUDOMÁNYTÖRTÉNET SZEREPE	15
II. A NORMÁL TUDOMÁNYHOZ VEZETŐ ÚT	24
III. A NORMÁL TUDOMÁNY TERMÉSZETE	36
IV. A NORMÁL TUDOMÁNY MINT REJTVÉNYFEJTÉS	47
V. A PARADIGMÁK ELSŐBBSÉGE	55
VI. AZ ANOMÁLIÁK ÉS A TUDOMÁNYOS FELFEDEZÉSEK LÉTREJÖTTE	63
VII. A VÁLSÁG ÉS A TUDOMÁNYOS ELMÉLETEK LÉTREJÖTTE	76
VIII. A VÁLSÁGRA ADOTT VÁLASZ	86
IX. A TUDOMÁNYOS FORRADALMAK JELLEMZÉSE, SZÜKSÉGSZERŰSÉGE	100
X. A FORRADALMAK MINT A VILÁGSZEMLELET VÁLTOZÁSAI	119
XI. A FORRADALMAK LÁTHATATLANSÁGA	142
XII. A FORRADALMAK FELOLDÓDÁSA	150
XIII. A FORRADALMAK ÉS A TUDOMÁNYOS HALADÁS	165
Utószó – 1969	179
Jegyzetek	215
Thomas Kuhn tudományfilozófiai „paradigmája”	233
A paradigmától a lexikonig (Fehér Márta)	251

ELŐSZÓ

Az itt következő tanulmány az első nyomtatásban közölt teljes beszámoló egy eredetileg csaknem tizenöt esztendeje fogant kutatási programról. Akkoriban elméleti fizika szakos hallgató voltam egy egyetemi továbbképzőn, s már közel jártam disszertációm befejezéséhez. Szerencsére részt vettem a fizikával foglalkozó, nem természettudósok számára indított egyetemi kísérleti tanfolyamon, s ekkor kerültem szembe először a tudománytörténettel. Legnagyobb meglepetésemre ez a találkozás az elavult tudományos elmélettel és gyakorlattal mélységesen megrendítette a tudomány lényegéről és különleges sikerének okairól vallott legfontosabb elképzeléseim egy részét.

Ezeket részben a tudományos munkára való felkészülésem során alakítottam ki, részben pedig a tudományfilozófiából merítettem, amellyel – mintegy mellékfoglalkozásként – hosszú időn át foglalkoztam. Minden pedagógiai hasznosságuk és elvont valószínűségük ellenére valahogy egyáltalán nem felelnek meg a tudománytörténet által elének tárt képnek. Mégis jó alapjai lehetnek és lehetnek számos tudományos vitának, tehát érdemesnek látszott alaposan utánajárni, miért bizonyulnak oly gyakran hibásnak. Ennek eredményeként gyökeresen megváltoztattam életpályámat illető terveimet: a fizikától a tudománytörténet felé fordultam, majd az aránylag egyértelműen történeti problémáktól fokozatosan visszatértem azokhoz az inkább filozófiai összefüggésekhez, amelyek kezdetben a történeti vizsgálódásra készítettek. Néhány cikktől eltekintve, az itt közölt tanulmány az első olyan nyilvánosságra hozott munkám, melyben ezek a korai érdeklődésemre jellemző kérdések állnak a középpontban. E munka bizonyos értelemben nem egyéb, mint kísérlet arra, hogy számot adjak barátaimnak és magamnak arról, miképp tolódt el érdeklődésem iránya a tudománytól elsősorban annak története felé.

Először akkor nyílt alkalmam arra, hogy elmélyedjem itt következő gondolataim némelyikében, amikor három éven át a

Harvard Egyetem oktatói és kutatói között ösztöndíjasként dolgoztam. E kötetlen időszak nélkül bizonyára sokkal nehezebb lett volna áttérnem új tudományterületre, sőt talán egyáltalán nem is sikerült volna. Ezekben az években időm egy részét szorosabb értelemben vett tudománytörténeti kutatásra fordítottam. Nevezetesen: folytattam Alexandre Koyré munkásságának tanulmányozását, és ekkor találkoztam először Emile Meyerson, Hélène Metzger és Anneliese Maier¹ munkáival. Ők korunk tudósainak többségénél világosabban magyarázzák meg, hogy mit jelentett a tudományos gondolkodás akkor, amikor a tudomány kánonjai lényegesen különböztek a ma általánosan elfogadottaktól. Habár egyre inkább kételkedem néhány konkrét történeti értelmezésük helyességében, munkáik, valamint A. O. Lovejoy *Great Chain of Being* (A létezés nagy láncolata) című írása az elsődleges forrásokkal szinte egyenrangú anyagot jelentettek számomra a tudományos eszmék történetének mi-lentétre vonatkozó elképzelésem kialakítása során.

Ezekben az években sok időt töltöttem olyan tudományterületek megismerésével is, amelyek nincsenek nyilvánvaló kapcsolatban a tudománytörténettel, de az e területen folyó kutatások mostanában hasonló kérdéseket vetnek fel, mint azok, amelyekre a tudománytörténet hívta fel a figyelmemet. Egy véletlenül felfedezett lábjegyzet nyomán jutottam el Jean Piaget kísérleteihez, amelyek fényt derítenek a fejlődő gyermek változó világvélményére és az egyes világvélmények közötti átmenetekre.² Egyik kollégám érzékelés-lélektani – főleg alakpszichológusok által írt – munkákat olvastatott velem; egy másik megismerttetett B. L. Whorf-nak a nyelvnek a világvélményre tett hatására vonatkozó feltevéseivel; W. V. O. Quine pedig feltárta előttem az analitikus-szintetikus megkülönböztetés filozófiai rejtélyét.³ Ösztöndíjas mivoltom tette lehetővé az ilyenfajta tétova kutatómunkát, s csak ennek révén bukkanhattam rá Ludwig Fleck szinte ismeretlen monográfiájára: *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Basel, 1935) (A tudományos tény keletkezése és fejlődése); ez a tanulmány sok mindent előre jelez saját elgondolásaimból. Fleck munkája és egy másik ösztöndíjas, Francis Sutton megjegyzése ébresztett rá arra, hogy elgondolásaim talán bele kellene ágyaznom a tudományos közösség szociológiájába. Bár az alábbiakban az olvasó kevés utalást talál ezekre a művekre és beszélgetésekre, olyan sokkal vagyok adó-

suk, hogy ma már magam sem tudom visszaidézni vagy fölbecsülni.

Utolsó ösztöndíjas évemben a bostoni Lowell Institute meghívott előadója voltam. Ekkor nyílt először alkalmam arra, hogy kipróbáljam még kialakulófélben levő elképzelésemet a tudományról. Az eredmény a „Fizikai elmélet keresése” címen 1951 márciusában tartott, nyolc részből álló nyilvános előadás-sorozat volt. A következő évben kezdtem a szó szoros értelmében vett tudománytörténetet tanítani, s az oktatással járó feladatok – mivel azelőtt sohasem tanulmányoztam e tárgyat rendszeresen – közel egy évtizedig kevés időt hagytak azoknak a gondolatoknak a világos kifejtésére, amelyek annak idején e területre irányítottak. Szerencsére azonban ezek az eredeti elgondolások a háttérből is irányították tanárkodásom előrehaladottabb szakaszát, hiszen megadták a tárgyalásra kerülő problémák vázát. Köszönetet kell mondanom tehát hallgatóimnak felbecsülhetetlen segítségükért: ők tanítottak meg arra, hogy elképzeléseim mennyiben tarthatók, és milyen eljárások alkalmasak hatályos közlésükre. Ezek a problémák és a kutatásnak ez az iránya adja meg az ösztöndíjas korom óta közölt, főleg történeti tárgyú és látszólag oly tarka tanulmányaim legtöbbjének egységét. Ezeknek az írásoknak egy része arról szól, hogy milyen lényeges szerepet játszottak egyes metafizikák az alkotó tudományos kutatásban. Másokban azt vizsgáltam, hogy hogyan halmozták föl és tették magukévá valamely új elmélet kísérleti alapjait olyan tudósok, akik egy régebbi, az újjal összeegyeztethetetlen elmélet hívei voltak. E folyamat leírásával azt a fejlődéstípust igyekeztem bemutatni, melyet az alábbiakban egy új elmélet vagy felfedezés „jelentkezésének” neveznek. Ezenfelül más ilyen kapcsolódások is vannak.

E tanulmány létrejöttének utolsó szakasza akkor kezdődött, amikor meghívtak, hogy az 1958–59-es tanévet a Center for Advanced Studies in the Behavioral Sciencesben töltssem. Ismét módomban nyílt arra, hogy teljes figyelmemet az itt vizsgálandó kérdéseknek szenteljem. S ami még fontosabb: a jobbára társadalomtudósokból álló közösségben töltött év során váratlanul szembesültem olyan kérdésekkel, amelyek az ilyen tudóskollektívák és neveltetésem természetűdős-közösségeinek összehasonlításából adódnak. Különösen az lepott meg, hogy milyen sok és milyen mély nyílt véleménykülönbség van a társadalom-

tudósok közt a jogos tudományos problémák és módszerek jellegét illetően. A tudománytörténet és személyes élményeim egyaránt azt sugallták, hogy a természettudósoknak sincsenek biztosabb vagy időtállóbb megoldásaik ezekre a kérdésekre, mint a társadalomtudományokban tevékenykedő kollégáiknak. A csillagászat, a fizika, a kémia vagy a biológia gyakorlata általában valahogy mégsem vált ki alaptételekig menő vitákat, míg például a pszichológusok vagy a szociológusok körében manapság gyakran szinte járványszerűek az ilyen viták. E különbség okát keresve jutottam el azoknak a tényezőkhöz, amelyek azóta a tudományos kutatás „paradigmáinak” nevezek. Ezek olyan, általánosan elismert tudományos eredményeket értek, melyek egy bizonyos időszakban a tudományos kutatók egy közössége számára problémáik és problémamegoldásaik modelljeként szolgálnak. Mihelyt mozaikomnak ez a darabja helyére került, gyorsan kialakult az itt következő tanulmány váza.

Ennek a vázlatnak a további történetét nem szükséges itt előadnom, de néhány szót mégis kell ejtenem az átdolgozások során is megőrzött formájáról. Már az első változat elkészítése és alapos átdolgozása közben is úgy gondoltam, hogy a kézirat csakis az *Encyclopedia of Unified Science* (Az egyesített tudomány enciklopédiája) köteteként jelenhet meg. Ennek az úttörő vállalkozásnak a szerkesztői szólítottak föl megírására, majd ragaszkodtak hozzá, hogy mindenképpen teljesítsem az elvállalt feladatot, és végül rendkívüli tapintattal és türelemmel várták ki az eredményt. Nagyon hálás vagyok nekik, különösen Charles Morrisnak, azért, hogy megadták a szükséges ösztönzést, és az elkészült kézirat végleges formába öntése során tanácsaikkal segítettek. Az *Encyclopedia* terjedelmi korlátai arra készítettek, hogy nézeteimet igen tömör és vázlatos formában közöljem. Habár a későbbi események valamelyest enyhítették e megszorításokat, és lehetővé tették, hogy munkámat egyidejűleg az *Encyclopedia*-tól függetlenül is megjelentessem, ez az írás mégis csak esszé lett, s nem olyan terjedelmes könyv, mint amilyent témám előbb-utóbb megkíván.

Mivel alapvető célom az, hogy megváltoztassam ismert tényekről alkotott képünket és azok értelmezését, az első megfogalmazásnak ez a vázlatos jellege nem feltétlenül hátrány. Épp ellenkezőleg: azok az olvasók, akiket saját kutatásaik felkészí-

tettek gondolkodásuknak az itt javasolthoz hasonló irányba fordítására, az esszé formát bizonyára meggyőzőbbnek és könnyebben befogadhatónak fogják találni. Ugyanakkor vannak e formának hátrányai is, ezért talán nem fölösleges már itt is érzékeltetni, hogy végül is milyen körű és mélységű bővítéseket szeretnék végrehajtani a hosszabb változat elkészítésekor. Sokkal nagyobb történeti anyag kínálkozik, mint amennyit az alábbiakban módomban van kiaknázni. Azonkívül ez az anyag a fizika meg a biológia történetéből származik. Részben azért döntöttem úgy, hogy csak az előbbivel foglalkozom, mert így egységesebbé és összefüggőbbé tehettem munkámat, részben pedig azért, mert az utóbbi területen jelenleg nem vagyok eléggé járatos. Továbbá: az itt kifejtendő tudományfelfogás alapján gyümölcsözőnek ígérkezik néhány újfajta történeti és szociológiai kutatás. Így például részletesen meg kell vizsgálni, hogy egyes anomáliák – azaz bizonyos tudományos várakozások megsértései – miként vonják egyre inkább magukra valamely tudományos közösség figyelmét, és azt sem volna érdektelen megvizsgálni, hogyan jelennek meg a válságok egy anomália kiküszöbölésére tett ismételt kísérletek kudarcra miatt. Vagy itt van egy másik probléma: ha nem tévedek, amikor azt állítom, hogy minden tudományos forradalom megváltoztatja annak a tudományos közösségnek a történeti látásmódját, amelyben végbemegy, akkor a perspektívának ez a megváltozása szükségképpen hat a forradalom utáni tankönyvek és kutatási beszámolók szerkezetére is. Tanulmányozni kellene egy ilyen hatást, mégpedig a kutatási beszámolókhöz fűzött lábjegyzetekben említett szakirodalom összetételének változását – mint a forradalmak megtörténtének egyik jelét.

Az erőteljes súrítás szükségessége szorított arra is, hogy lemondjak több fontos probléma tárgyalásáról. Például túlon túl sematikusnak találok saját megkülönböztetésem az egyes tudományok fejlődésének paradigma előtti és paradigma utáni szakasza között. A korábbi szakaszt különböző iskolák közötti versengés jellemzi, és minden ilyen iskola egy paradigmához igencsak hasonló valamit követ. Ugyanakkor bizonyos körülmények között – bár szerintem ritkán – előfordul, hogy a fejlődés későbbi szakaszában békésen egymás mellett él két paradigma. Pusztán az, hogy van egy paradigmánk, még nem eleendő ismérve a II. fejezetben tárgyalt fejlődési átmenetnek.

Fontosabb, hogy – rövid, alkalmi kitérőktől eltekintve – semmit sem mondok a technológiai fejlődés vagy a külső társadalmi, gazdasági, szellemi körülmények szerepéről a tudomány fejlődésében. Márpedig elég csak Kopernikuszra és a naptárkészítésre gondolnunk, hogy belássuk: valamely egyszerű anomáliát külső körülmények is heves válság forrásává változtathatnak. Ugyanez a példa azt is megmutatja, hogyan befolyásolhatják külső körülmények a tudós által felhasználható alternatívák körét, ha egy válságot valamilyen forradalmi újítással akar megoldani.⁴ Azt hiszem, az ilyenfajta hatások részletes vizsgálata nem módosítaná az e tanulmányban kifejtett fő tételeket, de kétségkívül hozzájárulna a tudományos fejlődés megértéséhez egy igen fontos elemzési dimenzióval.

Végül említtem, bár talán ez a legfontosabb: a terjedelmi korlátok erősen hatottak arra, ahogyan a tanulmányomban kifejtett, történetileg megalapozott tudományfelfogás filozófiai következményeit kezelem. Nyilvánvaló, hogy tudományfelfogásomnak vannak ilyen következményei, meg is kíséreltem rámutatni a legfontosabbakra, és igyekeztem dokumentálni őket. Eközben azonban rendszerint tartózkodtam attól, hogy a kortárs filozófusoknak a megfelelő kérdésekre vonatkozó, változatos álláspontjait részletesen tárgyaljam. Ahol jeleztem kételyemet, azok többnyire egy filozófiai megközelítési módra, nem pedig annak kifejtett megnyilvánulásaira irányultak. Így azután némelyek, akik ismerik ezt vagy azt a kifejtett álláspontot, és annak hívei, úgy érezhetik: nem értettem meg őket. Azt hiszem, tévednek, de ennek a tanulmánynak nem célja, hogy meggyőzze őket. Ha erre törekedtem volna, sokkal hosszabb és merőben másféle könyvet kellett volna írnom.

Ez az előszó néhány önéletrajzi részlettel kezdődik. Ezek szolgálnak köszönetnyilvánításul azoknak a tudományos munkáknak és intézményeknek, amelyek segítettek kialakítani gondolataimat. Ami ilyen tartozásom még maradt, azt a munkámban található hivatkozásokkal próbálom leróni. Sajnos mindaz, amit eddig elmondtam, és amiről még ezután szólok, csupán jelezheti, milyen sok és sokféle személyes lekötöttség fűz mindazokhoz, akiknek javaslatai és bírálatai táplálták és irányították szellemi fejlődésem egyik vagy másik szakaszát. Nagyon sok idő telt el azóta, hogy az e tanulmányban előadott gondolatok kialakulása elkezdődött bennem, s azoknak a névsora, akik

joggal fedezhetik föl hatásuk némi jelét ezeken a lapokon, csaknem azonos barátaim és ismerőseim névsorával. Így hát kényserűen csak azokra a legfontosabb hatásokra szorítokozom, amelyeket még a hézagos emlékezet sem hagyhat soha teljesen feledésbe merülni.

James B. Conant, a Harvard Egyetem egykori rektora vezetett be a tudománytörténetbe, ő indította meg bennem azt a folyamatot, amely megváltoztatta felfogásomat a tudomány fejlődésének lényegéről. Azóta sem fukarkodott gondolataival, kritikai megjegyzéseivel és idejével; arra is szakított időt, hogy elolvassa kéziratom vázlatát, és jelentős változtatásokat javasoljon benne. Leonard K. Nash, akivel öt éven át együtt tanítottunk a dr. Conant által indított történeti tárgyú tanfolyamon, még tevékenyebb munkatársam volt azokban az években, amikor első elgondolásaim kialakultak; gondolataim későbbi fejlődési szakaszában igencsak hiányzott ez nekem. Miután azonban Cambridge-ből eltávoztam, az ő alkotótársi vagy talán ennél is fontosabb szerepét – nagy szerencsémre – berkeleybeli kollégám, Stanlye Cavell vette át. Állandó ösztönzés és bátorítás volt a számomra, hogy Cavell, a főleg etikával és esztétikával foglalkozó filozófus, szinte teljesen ugyanolyan következtetésekre jutott, mint én. Azonkívül ő volt eddig az egyetlen ember, akivel félmondatokban is tudtam beszélni gondolataimról. Esmecseréinknek ez a formája olyan megértésről tanúskodott, amelynek híján aligha tudott volna átsegíteni az első fogalmazvány írása közben elem tornyosuló akadályokon.

E változat elkészülte után sok más barátom is segített az átdolgozásban. Úgy gondolom, megbocsátják, ha csak négyüket említtem név szerint, azokat, akiknek közreműködése a legjelentősebbnek és legdöntőbbnek bizonyult: Paul K. Feyerabend (Berkeley), Ernest Nagel (Columbia), H. Pierre Noyes (Lawrence Radiation Laboratory) és hallgatóm, John L. Heilbron, aki többször közvetlenül is részt vett a végleges változat nyomtatásra való előkészítésében. Minden fönntartásukat és tanácsukat rendkívül hasznosnak találtam, de nincs okom azt hinni (és van okom kételkedni benne), hogy akár ők, akár a többi említett kolléga teljes egészében egyetértene munkám e végső formájával.

Végül másfajta köszönettel tartozom a szüleimnek, feleségemnek és gyermekeimnek. Mindegyikük leróta a maga szel-

lemi hozzájárulását munkámhoz, mégpedig úgy, hogy én alig vettem észre. Tettek azonban valami olyant – mindegyikük a maga módján –, ami még ennél is fontosabb: hagyták a művet létrejönni, sőt még szították is iránta táplált odaadásomat. Aki maga is megbirkózott már olyan feladattal, mint amilyen az enyém volt, tudhatja, olykor milyen árat kellett fizetniük. Nem is tudom, hogyan hálálhatnám meg nekik.

Berkeley, California
1962. február

T. S. K.

I. BEVEZETÉS: A TUDOMÁNYTÖRTÉNET SZEREPE

A tudománytörténet, ha többnek tekintjük anekdoták és kronológiai adatok tárházánál, gyökeresen átalakíthatja jelenlegi tudományfölfogásunkat. Mindmáig maguk a tudósok is nagyrészt kész tudományos eredményekből merítették elképzelésüket a tudomány mibenlétéről. Ezeket az eredményeket a klasszikusokból, újabban pedig kézikönyvekből meríti a tudósok minden új nemzedéke, amikor elsajátítja szakmája gyakorlatát. Ezek a könyvek azonban oktató és nevelő célzattal íródtak, s a belőlük származó tudományfogalom nem alkalmasabb a nagy eredmények kialakulási folyamatának érzékeltetésére, mint egy turista számára szánt brosúra vagy nyelvkönyv valamilyen nemzeti kultúra megismertetésére. Az itt következő tanulmányban megpróbáljuk kimutatni, hogy a fent említett kézikönyvek lényegében félrevezetnek bennünket. Célunk egy egészen más tudományfogalom körvonalazása, amelynek forrása magának a kutatói tevékenységnek a története.

Ennek az új koncepciónak a kialakulása viszont még a tudománytörténet segítségével sem következhet be egyhamar, ha a történeti adatok feltárását és alapos vizsgálatát továbbra is főként azért végezzük, hogy megválaszolhassuk a tudományos szövegekből adódó történelmietlen sztereotípiák által fölvetett kérdéseket. E közlemények például gyakran valahogy azt sejtetik, hogy a tudomány tartalmát kimerítik a bennük leírt megfigyelések, törvények és elméletek. Ugyanezek a könyvek szinte mindig azt a benyomást keltik, hogy a tudományos módszerek kizárólag olyanok, mint a kézikönyvben közölt adatok összegyűjtésénél alkalmazott manipulatív eljárások, valamint azok a logikai műveletek, amelyeket ezeknek az adatoknak a könyv elméleti általánosításaival való összekapcsolására felhasználtak. Az ennek eredményeként kialakuló tudományfogalom már magában foglalja a tudomány lényegét és fejlődését illető alapvető következtetéseket is.

Ha a tudomány az általánosan elfogadott munkákban összegyűjtött tények, elméletek és módszerek halmaza, akkor tudósok mindazok, akik – sikeresen vagy sikertelenül – igyekeztek valamivel hozzájárulni ehhez a sajátos halmazhoz. A tudomány fejlődése pedig olyan folyamattá töredezik szét, amely az egyes elemek összekapcsolódásával a tudományos eljárások és ismeretek egyre növekvő tárházává válik. A tudománytörténetnek az lesz a feladata, hogy évkönyveiben rögzítse e folytonos gyarapodás részleteit és a felhalmozódásokat gátló akadályokat. A tudomány fejlődésével kapcsolatban eszerint a történelemnek két fő feladata van. Egyrészt, tisztázni kell, hogy az egyes korok tudományában szereplő tényeket, törvényeket és elméleteket ki és mikor fedezte föl, illetve találta föl. Másrészt, le kell írnia és meg kell magyaráznia a modern tudományos kézikönyvek alkotórészeinek még gyorsabb felhalmozódását késleltető rengeteg tévedést, mítoszt és babonát. Sok kutató tűzött ki ilyen célokat, és néhány még mindig ezt teszi.

Az utóbbi években azonban a tudománytörténelemnek egy része érzi, hogy egyre nehezebben képes eleget tenni azoknak a feladatoknak, amelyek a fejlődést az ismeretek és eljárások felhalmozódásával azonosító felfogás rájuk ró. Egy növekedési folyamat krónikáiként ráébrednek, hogy a további kutatások nem könnyebbé, hanem nehezebbé teszik az ilyenfajta kérdések megválaszolását. Mikor fedezték fel az oxigént? Ki fogalmazta meg először az energia megmaradásának elvét? Akadnak, akik egyre inkább sejtik, hogy ezek egyszerűen helytelen kérdéskérdések. Talán a tudomány nem is egyes felfedezések és feltalálások felhalmozódása révén fejlődik! Emellett ugyanezek a történelem mind nagyobb nehézségekbe ütköznek, amikor a régi megfigyelésekben és meggyőződésekben el akarják választani a „tudományos” elemet attól, amit elődeik rögtön „tévhitnek” és „babonának” kiáltottak ki. Mennél alaposabban vizsgálják – mondjuk – az arisztotelészi dinamikát, a flogiszonkémiaát vagy a kalorikus termodinamikát, annál biztosabban érzik, hogy ezek a valaha általánosan elterjedt természettudományos nézetek egészükben nem voltak kevésbé tudományosak, és nem voltak inkább az emberi idioszinkrázia termékei, mint a ma divatosak. Ha ezeket az elavult hiedelmeket mítosznak nevezzük, akkor mítoszokat teremthetnek ugyanolyan módszerek, és az emberek hihetnek bennük ugyanolyan okokból, mint amilyenek ma-

napság tudományos ismereteket eredményeznek. Ha pedig tudományának tartjuk őket, akkor a tudomány mai nézeteinkkel teljesen összeegyeztethetetlen hitelemeket tartalmaz. E lehetőségek közül a történelemnek az utóbbit kell választania. Az idejétmúlt elméletek nem eleve tudománytalanok, pusztán azért, mert elvetették őket. Ez a választás viszont megnehezíti, hogy a tudomány fejlődését növekedési folyamatnak tekintsük. Mikor a történelmi kutatás megmutatja az egyes találmányok és felfedezések elkülönítésének nehézségeit, egyszersmind megrendíti azt a hitet, hogy ezek a tudományért tett egyéni erőfeszítések összegeződve valamiféle felhalmozódási folyamatot eredményeznek.

Míndezek a kételyek és nehézségek a tudománytörténelmi kutatások forradalmához vezettek, habár ez a forradalom még a kezdeteinél tart. A tudománytörténelem fokozatosan – gyakran anélkül, hogy teljesen a tudatában lennének – kezdenek újfajta kérdéseket föltenni, és kezdenek többféle – sokszor éppenséggel nem kumulatív – fejlődési sorokat földeíteni a tudományban. Ahelyett, hogy azokat a maradandó hatásokat keresnék, amelyekkel valamely régebbi tudomány hozzájárult mai fölényes tudásunkhoz, megkísérlik e tudomány történelmi hűségével a maga korában bemutatni. Nem az érdeklőket például, hogy miként viszonyulnak Galilei nézetei a modern tudományos felfogáshoz, hanem inkább az, hogy miként kapcsolódnak az ő nézetei saját környezetének – tanárainak, kortársainak és közvetlen utódainak – nézeteihez. Továbbá, e kör és a hasonló közösségek elgondolásait következetesen olyan – a modern tudományétól rendszerint nagyon is eltérő – nézőpontból vizsgálják, amely legalkalmasabb belső koherenciájuk megragadására, és leginkább megfelel sajátosságaiuknak. Ha a tudományt a fenti törekvéseket kifejező művek kínálta nézőpontból szemléljük (ennek az iránynak talán legjobb példái Alexandre Koyré írásai), akkor merőben más képet kell alkotnunk róla, mint a régebbi történetírói hagyomány alapján. Így, legalább közvetve, ezek a történelmi vizsgálódások föl-villantják egy új tudománykép lehetőségét. Munkánk az a célja, hogy az új tudománytörténet néhány következményének kifejtésével körvonalazzuk ezt az új tudományképet.

A tudománytörténelmi jellegzetességei domborodnak ki e kísérlet során? Elsőként, legalábbis a tárgyalás sorrendjében első-

ként az, hogy sok tudományos kérdés egyetlen helyes megoldása sem adódik közvetlenül magukból a módszertani irányelvekből. Bárki, aki megtanulja, hogyan kell vizsgálni az elektromos és kémiai jelenségeket, ha járatlan ezek terén, de tudja, hogy a tudomány szerint milyennek kell lenniük, több, egyformán jogosult, viszont egymással összeegyeztethetetlen eredményre juthat. Hogy e jogos lehetőségek közül ténylegesen mely következtetésekre jut, valószínűleg más területeken szerzett korábbi tapasztalataitól, kutatómunkájának esetlegességeitől és egyéni alkatától függ. A csillagokra vonatkozó hiedelmek közül például melyeket használja fel, amikor kémiával vagy elektromossággal foglalkozik? Az új kutatási területhez illő sok elképzelhető kísérlet közül melyiket hajlja végre először? És az ekkor kirajzolódó összetett jelenség mely mozzanatait tartja elsősorban alkalmasnak a kémiai változás vagy az elektromos affinitás lényegének tisztázásához? Az egyén számára mindenképp, és olykor a tudományos közösség számára is, az ilyenfajta kérdésekre adott válasz többnyire lényegi meghatározója a tudományos fejlődésnek. A II. fejezetben például elmondjuk majd: a legtöbb tudomány fejlődésének korai szakaszát az jellemezte, hogy állandóan több eltérő természetszemlélet versenyzett egymással, melyek mindegyike részben a tudományos megfigyelés és módszer előírásából származott, és nagyjából összeegyeztethetők is voltak velük. Ezeket az eltérő iskolákat nem az alkalmazott módszer valamilyen hibája különböztette meg – mind „tudományosak” voltak –, hanem valami, amit csak így lehet jellemezni: az egyes iskolák összehasonlíthatatlan módokon látták a világot és a világban folytatható tudományos munkát. A megfigyelésnek és a tapasztalatnak lehet és kell messzeemenően korlátoznia az elfogadható tudományos meggyőződés körét, másképp nincs tudomány. Egyedül a megfigyelés és a tapasztalat azonban nem döntheti el valamely sajátos tudományos meggyőződés milyenségét. Az adott tudományos közösség által bizonyos időszakban elfogadott vélekedések létrejöttében mindig közrejátszik egy látszólag önkényes, személyes és történeti esetlegességekből összeálló mozzanat.

Ez az önkényesség mozzanat azonban nem jelenti azt, hogy akadhat minden bevett meggyőződés nélkül tevékenykedő tudományos közösség; s nem is csökkenti annak fontosságát, hogy a csoport egy adott időpontban ténylegesen külön társu-

lássá szerveződik. Hatékony kutatás aligha kezdődhet mindaddig, amíg a tudományos közösség nem jut arra a meggyőződésre, hogy határozott választ talált az ilyenfajta kérdésekre: Melyek a világmindenséget alkotó alapvető entitások? Milyen kölcsönhatásban vannak ezek egymással és az értelemmel? Milyen kérdéseket tehetünk fel joggal ezekkel az entitásokkal kapcsolatban, és milyen eljárásokat alkalmazhatunk a válaszok keresése során? A tudományok, legalábbis az érett tudományok ilyen kérdésekre adott válaszai (vagy a válasz szerepét betöltő állítások) szilárdan beépülnek abba a tananyagba, melynek el-sajátítása készíti elő és jogosítja fel hivatásukra a tudósjelölteket. A képzés egyszerre szigorú és merev, ezért e válaszok erősen befolyásolják a tudományos gondolkodást. Jórészt erre vezethető vissza a normál kutatási tevékenység sajátos hatékonysága, és többnyire ezzel magyarázható az ilyen kutatás iránya is. A III., IV. és V. fejezetben a normál tudomány keretében folyó kutatást végül is olyan kitartó és hiábavaló erőfeszítésként akarjuk jellemezni, amely a természetet a szakképzésből származó fogalmi keretekbe próbálja belekényszeríteni. Ugyanakkor azt a kérdést is föl fogjuk tenni, hogy lehetséges-e egyáltalán kutatás ilyen sémák nélkül, bármilyen szerepe van keletkezésükben és néha további fejlődésükben az önkényességnek.

Az önkényesség mozzanata mindenképpen jelen van, és ez is jelentősen hat a tudomány fejlődésére. Ezzel a VI., VII. és VIII. fejezetben fogunk foglalkozni. A normál tudomány – az a tevékenység, amellyel a legtöbb tudós szinte minden idejét eltölti – arra a feltevésre épül, hogy a tudományos közösség tudja, milyen a világ. A közösség vállalkozásának sikere nagyrészt azon múlik, hogy hajlandó-e megvédeni ezt a feltevést, akár komoly áron is. A normál tudomány például gyakran lényeges új felismeréseket sem enged érvényesülni, mivel ezek szükségképpen akadályoznák alapvető elkötelezettségei teljesítését. Ha viszont ezek az elkötelezettségek önkényes mozzanatot is tartalmaznak, akkor a normál kutatás lényegéből következik, hogy az új felismerés túlon túl sokáig nem fojtható el. Néha egy normál probléma makacsul ellenáll azoknak a támadásoknak is, amelyeket a megfelelő szakterület legképzettebb kutatói intéznek ellene, pedig ismert szabályok és eljárások segítségével megoldhatónak kellene lennie. Máskor egy normál kutatási célra szánt és szerkesztett berendezés nem a várt módon viselkedik, olyan

anomáliát tár föl, amely ismételt próbálkozások után sem egyeztethető össze a szakmai várakozásokkal. A normál tudomány újra meg újra utat téveszt így vagy másképp. Amikor pedig ez bekövetkezik – azaz amikor a szakmabeliek már nem hagyhatják figyelmen kívül a tudományos gyakorlat meglévő hagyományát felbomlasztó anomáliákat –, akkor rendkívüli kutatások kezdődnek, amelyek végül új kötelezettségek vállalására, a tudományos kutatás új alapjának kidolgozására készítetik a szakmabelieket. A szakmai elkötelezettségek ilyen változásai rendkívüli események; ezeket nevezzük ebben a munkában tudományos forradalmaknak. A tudományos forradalmak a normál tudomány hagyományhú működésének hagyománytörő kiegészítései.

A tudományos forradalmak legszembetűnőbb példái a tudomány fejlődésének azok a nevezetes eseményei, amelyeket már ezelőtt is gyakran forradalomnak tekintettek. Ezért a IX. és X. fejezetben, ahol először vizsgáljuk közvetlenül a tudományos forradalmak lényegét, Kopernikusz, Newton, Lavoisier és Einstein nevével kapcsolatban fogunk foglalkozni a tudomány fejlődésének nagyobb fordulópontjaival. A természettudomány történetének ezek az eseményei minden egyébnél világosabban tárják föl, hogy mik is tulajdonképpen a tudományos forradalmak.

Mindegyik tudományos forradalom elkerülhetetlenné tette, hogy a közösség elvesse a hagyományos tudományos elméletet egy vele összeegyeztethetetlen másik kedvéért, következésképpen mindegyik megváltoztatta a tudományos vizsgálódás számára hozzáférhető kérdések körét és azokat a kritériumokat, amelyek alapján a szakma eldönti, hogy mi tekinthető értelmes problémának és mi jogos problémamegoldásnak. Mindegyik úgy átalakította a tudományos képzelőerőt, hogy azt kell mondanunk: maga a tudományos munka színterét képező világ alakult át. Mindezek a változások az őket szinte mindig kísérő vitákkal együtt adják a tudományos forradalmak meghatározó sajátosságait. Ezek a jellegzetességek egyértelműen kiderülnek például a newtoni vagy a kémiai forradalom tanulmányozása során. Munkám egyik alaptétele viszont, hogy e sajátosságok sok más, nem olyan nyilvánvalóan forradalmi jellegű esemény vizsgálatával is megragadhatók. Bár a tudósok sokkal kisebb körét érintették, Maxwell egyenletei éppoly forradalmiak vol-

tak, mint Einsteinéi, és ennek megfelelően legalább akkora ellenállásba ütköztek. Más új elméletek kidolgozása rendszeresen és jó okkal ugyanilyen ellenhatást vált ki néhány olyan tudósból, akiknek a szakterületére illetéktelenül betörték. E szakemberek számára az új elmélet a normál tudomány addigi gyakorlatát irányító szabályok megváltozását jelenti, ezért elkerülhetetlenül rossz fényt vet sok, általuk már sikeresen elvégzett tudományos munkára. Ez a magyarázata annak, hogy az új elmélet – bármily szűk legyen is alkalmazásának köre – ritkán vagy sohasem pusztán adalék a már ismerthez. Teljes feldolgozásához át kell alakítani a korábbi elméletet és újra kell értékelni az előző helyzetet; e valóságos forradalmi folyamat ritkán egy ember műve, és sohasem megy végbe egyik napról a másikra. Nem csoda, hogy a történészek nehezen állapítják meg a pontos időhatárait ennek a hosszú folyamatnak, amelyet szóhasználatuknak megfelelően elszigetelt eseményként fognak fel.

Azonkívül a tudományos élet eseményei közül nem is kizárólag az elmélet megújítása van forradalmi hatással az érintett területen működő szakemberekre. A normál tudományt irányító elkötelezettségek nemcsak azt határozzák meg, hogy milyen entitásokat tartalmaz a világmindenség, hanem közvetve azt is, hogy melyeket nem tartalmaz. Ebből következik – egyébként erről még részletesebben kell majd szólnunk –, hogy például az oxigén vagy a Röntgen-sugarak fölfedezése nem pusztán egy újabb adalék a tudós világához. Végül ez lesz a fölfedezés eredménye, de csak azután, ha a tudományos közösség már átértelkelte a hagyományos kísérleti eljárásokat, megváltoztatta a felfogását a régóta ismert entitásokról, és folyamatosan átalakította a világ megértését szolgáló elméleti rendszerét. Tudományos tény és tudományos elmélet nem különíthető el kategorikusan, legfeljebb talán a normál tudomány valamely önmagában vett hagyományán belül. Ezért a váratlan felfedezés jelentősége nem csupán tényszerűségében rejlik, s az alapvető ténybeli vagy elméleti újítások a tudós világát minőségileg is átalakítják és mennyiségileg is gyarapítják.

Az itt következő tanulmányban a tudományos forradalmak lényegének ezt a tágabb értelmezését körvonalazom. A fogalomnak ez a kiterjesztése kétségkívül eltér megszokott használatától. Én azonban gyakran egyszerű felfedezéseket is forradalmiként fogok jellemezni, ugyanis éppen az teszi fontossá szá-

momra a fogalom kiterjesztését, hogy ezáltal a felfedezések szerkezete és a forradalom – például: a kopernikuszi fordulat – között összefüggést állapíthatok meg. Az eddigi tárgyalásmód már jelzi, hogyan építem majd föl az alább következő kilenc fejezetben a normál tudomány és a tudományos forradalom egymást kiegészítő fogalmát. A könyv többi részében még három megoldatlan fő kérdésre próbálok válaszolni. A XI. fejezetben, a kézikönyvekkel kapcsolatos hagyományokat fejtegetve, azt boncolgatom, hogy régebben miért voltak oly nehezen felismerhetők a tudományos forradalmak. A XII. fejezet a régi, normál tudományos tradíció védelmezői és az új irányzat hívei közötti forradalmi versenyt írja le. Azt a folyamatot gondolom át tehát, amelynek a tudományos kutatás elméletében fel kell váltania a szokásos tudományfelfogásunkból jól ismert verifikációs és falszifikációs eljárások helyét a tudományos kutatás elméletében. Valójában csak a tudományos közösség egyes csoportjai közötti versenynek mint történeti folyamatnak az eredménye lehet, hogy elvetnek egy addig elfogadott tudományos elméletet, és elfogadnak egy újat. Végül, a XIII. fejezetben felteszem majd a kérdést: hogyan egyeztethető össze a forradalmakon át zajló fejlődés a tudomány haladásának látszólag egységes jellegével? E kérdést illetően azonban itt a válasznak csak a fő körvonalait vázolhatjuk föl; ez a megoldási kísérlet a tudományos közösség jellegzetességeire támaszkodik, s még sok további anyaggyűjtést és tanulmányozást igényel.

Gondolom, egyes olvasók már föltették a kérdést: elvezethet-e egyáltalán a történeti jellegű kutatás a fogalmi rendszer olyanfajta átalakulásához, mint amilyent itt javasoltunk? Ismert dichotómiák egész sora azt sugallja, hogy ez lehetetlen. Túlon túl biztosak vagyunk abban, hogy a történetírás tisztán leíró tudomány. A most előadott tételek azonban jórészt értelmező jellegűek, sőt akad köztük normatív állítás is. Ezenkívül sok általánosításom a tudósok szociológiájára vagy szociálpszichológiájára vonatkozik; legalább néhány következtetésem pedig hagyományosan a logikához vagy az ismeretelmülethez tartozik. Sőt úgy tűnhet, hogy az előző bekezdésben megsértettem a „felfedezés kontextusa” és „az igazolás kontextusa” közötti különbségtevés napjainkban oly elterjedt elvét. A különböző területek és vonatkozások ilyen keveredése lehet-e másnak a jele, mint a mélységes zűrzavaré?

Tekintve, hogy szakmai intellektuális képzésemben nagy szerepe volt az ilyen és hasonló megkülönböztetéseknek, nagyon is tisztában vagyok jelentőségükkel és hatékonyságukkal. Hosszú évekig feltételeztem, hogy a tudomány lényegéről adnak eligazítást, és még mindig hiszem, hogy – megfelelően átdolgozott formában – fontos mondanivalójuk van számunkra. Valahányszor azonban megpróbáltam – akár csak nagyjából – az ismeretek szerzésének, elfogadásának és alkalmazásának valószínűségi körülményeire vonatkoztatni őket, rendkívül problematikusnak bizonyultak. Most már úgy látszik, hogy ezek a megkülönböztetések inkább éppen azokra a kérdésekre adott válaszok hagyományos rendszerének szerves részei, amelyek megoldására szánták őket, semmint elemi logikai vagy módszertani disztinkciók; az utóbbi esetben ugyanis megelőznék a tudományos ismeretek elemzését. Az összefüggésnek ez az önmagába záródása egyáltalán nem érvényteleníti, de egy elmélet részeivé teszi őket, és ezért alávethetők ugyanolyan szabályos vizsgálatoknak, mint amilyeneket más elméleti területeken alkalmaznak. Feltéve, hogy tartalmuk több pusztán absztrakciónál, ezt a tartalmat fel is kell fedezni, ha megfigyeljük, alkalmazhatók-e ezek a disztinkciók azokra az adatokra, amelyeknek a megmagyarázására valók. Elképzelhető-e, hogy ne a tudománytörténet legyen az egyik kútfője azoknak a jelenségeknek, amelyekre – a jogos várakozások szerint – alkalmazhatónak kell lenniük a tudást vizsgáló elméleteknek?

II. A NORMÁL TUDOMÁNYHOZ VEZETŐ ÚT

Ebben a tanulmányban „normál tudományon” olyan kutatást értünk, mely határozottan egy vagy több múltbeli tudományos eredményre épül, nevezetesen olyan eredményekre, amelyeket egy bizonyos tudományos közösség valameddig saját további tevékenysége alapjának tekint. Manapság az ilyen eredményeket alapfokú és magasabb szintű tudományos kézikönyvek foglalják össze, bár legtöbbször nem eredeti formájukban. Ezek a könyvek ismertetik az elfogadott elmélet lényegét, példákkal szemléltetik sok vagy akár valamennyi felhasználási lehetőségét, és ezeket az alkalmazási módokat összehasonlítják a mintának tekintett megfigyelésekkel és kísérletekkel. Az ilyen összefoglaló munkák a XIX. század elején, a közelmúltban kialakult tudományokban pedig csak a legutóbbi időkben váltak népszerűvé. Korábban számos híres klasszikus tudományos mű töltött be hasonló szerepet. Következésképpen egy ideig Arisztotelész *Fizikája*, Ptolemaiosz *Almagestje*, Newton *Principiája* és *Optikája*, Lavoisier *Kémiája*, Franklin *Elektromossága*, Lyell *Geológiája* és sok más munka határozta meg a gyakorló tudósok egymást követő nemzedékei számára, hogy melyek egy kutatási terület jogos problémái és módszerei. Erre két közös sajátosságuk tette képessé őket. Feldolgozásmódjuk eléggé újszerű volt ahhoz, hogy a tudományos tevékenység velük vetélkedő módszereivel szemben tartósan követőkre találjanak, s ugyanakkor eléggé nyitott volt ahhoz, hogy mindenfajta megoldandó problémát hagyjanak hátra az új tudóscsoportnak.

Az e két közös vonással jellemezhető eredményeket a továbbiakban „paradigmá”-nak fogom nevezni. Ez a terminus szorosan összefügg a „normál tudomány”-nyal. Az új kifejezéssel arra akarom felhívni a figyelmet, hogy a valóságos tudományos gyakorlat egyes elfogadott mintái – ezek a minták magukban foglalják a megfelelő törvényt, elméletet, az alkalmazást és a kutatási eszközöket együtt – olyan modellek, amelyekből a

tudományos kutatás sajátos összefüggő hagyományai fakadnak. Ezek azok a hagyományok, amelyeket a történész ilyen címszavak alatt emleget: „ptolemaioszi csillagászat” (vagy „kopernikuszi”), „arisztotelészi dinamika” (vagy „newtoni”), „korpuszkuláris optika” (vagy „hullámoptika”) stb. Elsősorban a paradigmák tanulmányozása – ezek közül sok jóval speciálisabb, mint az előbb példaképpen idézettek – készíti elő a tudósjelöltet arra, hogy később az igényes tudományos közösség tagjaként tevékenykedhessen. Mivel olyan társai lesznek e közösségben, akik ugyanazokon a konkrét modelleken sajátították el tudományterületük alapjait, mint ő, későbbi tevékenysége ritkán idéz elő nyílt vitát az alaptételeket illetően. A közös paradigmák alapján kutatókat azonos szabályok és minták vezérlik. Ez az elkötelezettség és a belőle fakadó, félreérthetetlen közmegegyezés előfeltétele a normál tudománynak, azaz egy bizonyos kutatási hagyomány létrejöttének és fennmaradásának.

Mivel ez a munka gyakran a paradigma kifejezéssel helyettesít több jól ismert fogalmat is, bővebben kell indokolnunk bevezetését. A konkrét tudományos teljesítmény mint a szakmai elkötelezettség terepe miért előzi meg a belőle elvonatkozatható különféle fogalmakat, törvényeket, elméleteket és szempontokat? A diák számára a közös paradigma milyen értelemben alapegysége – mégpedig kis logikai alkotórészekre teljesen nem redukálható, ezekkel nem helyettesíthető alapegysége – a tudományos fejlődésnek? Amikor az V. fejezetben ismét szembeke-rülünk ezekkel a kérdésekkel, a rájuk és más hasonló kérdésekre adott válaszok kulcsfontosságúnak bizonyulnak mind a normál tudománynak, mind a paradigmák hozzá kapcsolódó fogalmának a megértéséhez. Ez az elvontabb tárgyalásmód azonban a normál tudomány és az érvényes paradigmák előzetes konkrét vizsgálatára támaszkodik. E két összefüggő fogalmat úgy fogjuk tisztázni, hogy megállapítjuk: a tudományos kutatás egy fajtája paradigmák nélkül is folyhat, vagy legalábbis olyan egyértelmű és kötelező paradigmák nélkül, mint amilyenekről eddig beszéltünk. Egy paradigma és az általa lehetővé tett ezotérikusabb kutatás megjelenése az érettség jele minden tudományterület fejlődésében.

Ha a történész kinyomozza valamely összefüggő jelenségcsoportra vonatkozó tudományos ismereteink múltját, valószínűleg

találkozik annak a sémának egy kevésbé ismert változatával, amelyet itt a fizikai optika történetéből vett példával szemléltünk. A mai fizikakönyvek azt tanítják, hogy a fény fotonokból, azaz kvantummechanikai entitásokból áll, s ezek hol hullámjellegűnek, hol részecskejellegűnek mutatkoznak. A kutatás e felfogás szerint folyik, pontosabban egy bonyolultabb matematikai leírás szerint, melynek az előbbi, közkeletű állítás a szóbeli megfogalmazása. A fény ilyen leírása azonban alig ötvenéves múltra tekinthet vissza. Mielőtt Planck, Einstein és mások a század elején kialakították ezt a leírást, a fizikakönyvek azt tanították, hogy a fény transzverzális hullámmozgás. Ez a felfogás abban a paradigmában gyökerezett, amely végső soron Youngnak és Fresnelnek a XIX. század elején írott fénytani munkáira vezethető vissza. De a hullámelmélet sem az első olyan elmélet volt, melyet a fénytannak szinte minden művelője elfogadott. A XVIII. században Newton *Optikáját* használták paradigmaként, e szerint pedig a fény anyagi korpuszkulákból áll. Abban az időben a fizikusok igyekeztek bebizonyítani, hogy a fényrészecskék nyomást gyakorolnak az útjukba kerülő szilárd testekre, a korai hullámelmélet hívei viszont meg sem próbáltak a bizonyítással.¹

A fizikai fénytannak ezek a paradigmaváltásai tudományos forradalmak, az egyik paradigmáról a másikra történő fokozatos forradalmi átmenet pedig az érett tudomány szokásos fejlődési sémája. A Newton munkássága előtti időszakot azonban nem ez a fejlődési séma jellemzi, és bennünket itt éppen ez az eltérés érdekel. A távoli ókor és a XVII. század vége között sohasem uralkodott egyetlen általánosan elfogadott felfogás a fény természetéről, hanem számos egymással versengő iskola és az iskolán belüli irányzat létezett egymás mellett. Legtöbbjük az epikuroszi, az arisztotelészi vagy a platóni tan valamelyik változatát vallotta magáénak. Az egyik csoport a fényt anyagi testekből kiáramló részecskék alkotta valaminek tekintette; a másik szerint a fény a testek és a szem közötti közeg módosulása; a harmadik a fényt a közeg és a szemből áradó valamiféle sugárzás kölcsönhatásaként magyarázta. Jelentkeztek még az előbb felsorolt felfogások különböző keverékei és változatai is. Mindegyik iskola valamely jól meghatározott rendszerhez kapcsolódott, érvényességét abból merítette, és paradigmatisms tapaszlatként mindegyik az optikai jelenségeknek azt a csoport-

ját emelte ki, amelyet a saját elmélete tudott legjobban megmagyarázni. A másfajta megfigyeléseket *ad hoc* elképzelések segítségével értelmezték, vagy a további kutatás által megoldandó problémák közé sorolták.²

Mindezek az iskolák jelentősen hozzájárultak egy-egy időszakban azoknak a fogalmaknak a kialakításához, azoknak a jelenségeknek a fölismeréséhez és azoknak az eljárásoknak a kidolgozásához, amelyekből Newton felépítette a fizikai optika első, majdnem egyetemesen elfogadott paradigmáját. Ha a tudósokat úgy határozzuk meg, hogy kizárjuk közülük e különböző iskolák jelentősebb alkotó egyéniségeit is, akkor nem tekinthetjük tudósnak modern utódaikat sem. Azok a régiek tudósok voltak. Aki alaposan megvizsgálja a Newton előtti fizikai optikát, mégis jogosan juthat arra a következtetésre, hogy bár e terület művelői tudósok voltak, munkájuk valóságos eredménye nem érte el a tudomány szintjét. Mivel módjukban állt, hogy egyik közkeletű vélekedésrendszert se tekintsék magától értetődőnek, mindenki, aki fizikáról írt, kötelességének érezte, hogy tudományterületét annak alapjaitól elindulva, újra felépítse. Így viszonylag szabadon választhatta meg, hogy mely megfigyeléseket és kísérleteket helyesli, ugyanis még nem volt a módszereknek, illetve a jelenségeknek egy olyan egységesen elfogadott együttese, amelynek alkalmazását és magyarázatát minden fénytannal foglalkozó kutató kötelezőnek érezhette volna. Az ilyen körülmények között született könyvek gyakran legalább annyira a többi iskola képviselői ellen irányultak, mint amennyire a természetről szóltak. Az alkotó emberi tevékenység sok területén ma sem ismeretlen ez a módszer, s nem is zárja ki a jelentős felfedezéseket és találmányokat. Mégsem ilyen sem a fizikai optika Newton utáni fejlődési sémája, sem a többi mai természettudományé.

Az elektromosságtan története a XVIII. század első felében konkrétabb és ismertebb példa arra, hogyan fejlődik egy tudomány, mielőtt kialakul első általánosan elfogadott paradigmája. Ebben az időben szinte annyi nézet volt az elektromosság lényegéről, ahány jelentős kísérletező tudós (Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollett, Watson, Franklin és mások) foglalkozott vele. E sok különféle elektromosságfogalomban van valami közös: bizonyos mértékig valamennyi az akkor minden tudományos kutatás számára irányadó mechanikus-korpusz-

kuláris filozófia valamely változatából ered. Mind olyan, valóban tudományos elméletnek volt az alkotóeleme, amely egyrészt kísérletezés és megfigyelés nyomán alakult ki, másrészt meghatározta a megkezdett kutatás további problémáinak kiválasztását és értelmezését. Bár a kísérletek mind elektromosságani kísérletek voltak, és a kísérletezők többsége ismerte egymás munkásságát, elméleteik között mégis legfeljebb csak távoli hasonlóságot találunk.³

A korai elméletek egyik csoportja, a XVII. század gyakorlatát követve, az elektromos vonzást és a dörzsvillamosságot tartotta elektromos alapjelenségnek. Ez az irányzat igyekezett a taszítást valamiféle másodlagos mechanikus visszahatásnak tulajdonítható jelenségeként kezelni és a Gray által frissen fölfedezett jelenségnek, az elektromos vezetésnek a megvitatását és módszeres kutatását minél későbbre halasztani. Más „elektrikusok” (ez saját kifejezésük) a vonzást és a taszítást az elektromosság egyformán elemi megnyilvánulásának tekintették, s ennek megfelelően módosították elméletüket és kutatásukat. (Ez a csoport tulajdonképpen rendkívül kicsiny; még Franklin elmélete sem magyarázta meg soha teljesen két negatív töltésű test kölcsönös taszítását.) De ennek a csoportnak sem volt az előbbinél könnyebb dolga, amikor az elektromos vezetésnek nem csak a legegyszerűbb jelenségeit próbálta megmagyarázni. Egy harmadik csoport azonban éppen ezekből a jelenségekből indult ki, és hajlamos volt az elektromosságot inkább vezetőkön átfutó „fluidum”-ként, mint nem vezetőkből kisugárzott „effluvium”-ként emlegetni. E csoport viszont akkor ütközött nehézségekbe, amikor megkísérelte összeegyeztetni elméletét a vonzás és taszítás különböző eseteivel. Csak Franklin és közvetlen utódainak munkássága révén bontakozott ki végre egy olyan elmélet, amely már szinte az összes felsorolt elektromos jelenséget meg tudta magyarázni, tehát közös paradigmával szolgálhatott az „elektrikusok” következő nemzedékének kutatásai számára.

Az előbb vázolt körülmények történelmileg tipikusak, kivéve azokat a tudományokat – ilyen a matematika és a csillagászat –, amelyeknek az első szilárd paradigmái a történelem előtti időkből származnak, és azokat – ilyen a biokémia –, amelyek már érett szaktudományok elkülönülése és újraegyesülése révén keletkeztek. Bár ezzel én is azt a szerencsétlen leegyszerű-

sítést alkalmazom, amely egy hosszú idő alatt lezajlott történelmi eseményt egyetlen, némiképp önkényesen kiválasztott névvel (például Newton vagy Franklin nevével) kapcsol össze, mégis emlékeztetek arra, hogy hasonlóan lényegbevágó nézeteltérések jellemezték például az Arisztotelész előtti kinetikát és az Arkhimédész előtti statikát, a Black előtti hőtant, a Boyle és Boerhaave előtti kémiát, valamint a Hutton előtti történelmi földtant is. A biológia egyes területein – például az örökléstanban – az első egyetemesen elfogadott paradigmák még újabb keletűek; az pedig kérdéses, hogy mely társadalomtudományok rendelkeznek már egyáltalán paradigmákkal. A tudományok története azt mutatja, hogy a kutatások terén rendkívül fáradságos út vezet a szilárd közmegegyezéshez.

A tudománytörténet viszont az ezen az úton fölbukkanó akadályok néhány okára is utal. Valószínű, hogy paradigma vagy paradigmajelölt híján egyformán fontosnak látszik minden olyan tény, amely esetleg hozzájárulhat egy adott tudomány fejlődéséhez. Ennek következtében a tudomány történetének korai szakaszában az adatgyűjtés sokkal közelebb áll a szinte vaktában végzett keresgéléshez, mint az adatgyűjtésnek a későbbi fejlődésben megszokottá váló módjához. Mivel pedig a kutatóknak nincs okuk, hogy rejtettebb és mélyebb információkat keressenek, a korai adatgyűjtés általában a könnyen hozzáférhető tények sokaságára korlátozódik. Az így létrejövő ismerethalmaz tartalmaz a rendszertelen megfigyelés és kísérletezés számára is elérhető tényeket, s magában foglal hagyományos foglalkozások – például az orvoslás, a naptárkészítés, a fém-megmunkálás – ismeretanyagából újra feleleveníthető, ezoterikusabb adatokat is. Mivel a mesterségek a véletlenül fel nem fedezhető tények egyik könnyen megközelíthető forrását képezik, a technológia gyakran kulcsszerepet játszott új tudományok kialakulásában.

Bár az adatgyűjtésnek ez a módja elengedhetetlen volt sok fontos tudomány létrejöttéhez, elég megvizsgáljunk például Plinius enciklopédikus írásait vagy Bacon XVII. századi természetrajzait, hogy belássuk: ez az út ingoványos talajra visz. Az ember valahogy habozik tudományosnak nevezni az így keletkező irodalmat. A hó, a szél, a bányászat stb. baconi „természetrázai” rengeteg információt, köztük nem egy értékeset is tartalmaznak, de egymás mellé helyeznek később reve-

latívnak bizonyuló tényeket (például hőfejlődés keveredés által) és olyanokat (például a trágyadombok felmelegedése), amelyeket még jó ideig túl bonyolultnak találnak ahhoz, hogy akár csak összehangolják őket az elmélettel.⁴ Továbbá, mivel minden leírás csak részleges lehet, a tipikus természetrajzok végtelenül hosszadalmas beszámolóikból gyakran éppen azokat a részleteket hagyják ki, amelyeket a későbbi kutatók megvilágító erejűnek találnak. Például az elektromosság korai „természetrajzai” közül jóformán egy sem említi, hogy a megdörzsölt üveg-rúd által magához vonzott pelyva később leesik. Ez akkor nem elektromos, hanem mechanikai jelenségnek tűnt.⁵ Mivel pedig a rendszertelen adatgyűjtőnek ritkán van ideje arra, hogy kritikusán viszonyuljon anyagához, s eszközei is fogyatékosak ehhez, nemegyszer egymás mellé helyez a fentihez hasonló leírásokat és olyanokat – mint például az antiperisztázissal (vagy hűtéssel) történő fűtés –, amelyeket ma teljesen képtelenek vagyunk igazolni.⁶ Csak elvétve fordul elő – mint az ókori statika, dinamika és geometriai optika esetében –, hogy előre megállapított elméleti útmutatás nélkül összegyűjtött tények elég áttekinthetőek ahhoz, hogy lehetővé tegyék az első paradigma kialakulását.

Ilyen helyzetben jönnek létre a tudományok korai szakaszára jellemző iskolák. Egyetlen természetrajz sem értelmezhető egységes elméleti és módszertani meggyőződésrendszer nélkül, amely lehetővé teszi a válogatást, értékelést és kritikát. Ha már a tények összegyűjtésekor nincs jelen legalább implicit módon egy ilyen meggyőződésrendszer – csak ennek megléte esetén beszélhetünk egyáltalán többről, mint „puszta tényekről” –, akkor ezt esetleg valamely bevett metafizikai rendszerrel, egy másik tudománnyal vagy egyénileg és történelmileg véletlenszerű mozzanattal kell pótolni. Így azután nem csoda, hogy a tudományok fejlődésének korai szakaszában különböző kutatók a jelenségeknek ugyanazt a csoportját – ha nem is mindig ugyanazokat az egyedi jelenségeket – vizsgálva, különbözőképpen írták le és értelmezték őket. Ami meglepő – és talán páratlan is a maga nemében –, hogy a tudományokban ezek az eltérések végül nagyrészt eltűnnek.

Mínhogy ezeknek a különbségeknek a megszűnése igen nagy mértékű, és minden jel szerint végleges is. Eltűnésüket pedig általában valamelyik paradigma előtti iskolának a győ-

zelme okozza; ez az iskola saját hiedelmeinek és előítéleteinek megfelelően a túl terjedelmes és túl kezdetleges információ-halmaznak csak egy különleges részét helyezi középpontba. Jó példát találunk erre a villamosságtan történetében. A kutatók egy része a villamosságot fluidumnak gondolta, és ezért különös figyelmet fordított a villamos vezetésre. E meggyőződéstől vezérelve, amely egyébként aligha boldogulhatott a sokféle ismert vonzási és taszítási jelenséggel, többen fölvetették: nem lehetne-e edénybe gyűjteni az elektromos fluidumot? Fáradozásaik közvetlen eredménye a leideni palack volt. Ezt a készüléket a természet rendszertelen vagy vaktában végzett vizsgálatával nem lehetett volna föl találni; valójában legalább két kutató fejlesztette ki egymástól függetlenül az 1740-es évek elején.⁷ Franklin szinte már villamosság-tani kutatásai kezdetétől fogva rendkívüli erőfeszítéseket tett e különös és, mint kiderült, igen jelentős felismeréseket hozó berendezés megmagyarázására. Sikere volt a leghatásosabb érv elméletének paradigmává emelése mellett, de még ez sem tudta érthetővé tenni az elektromos taszítás összes ismert esetét.⁸ Annak, hogy egy elméletet paradigmaként elfogadjanak, az a feltétele, hogy jobbnak látszék versenytársainál, de nem szükséges megmagyaráznia – és valóban soha nem is magyaráz meg – minden, vele szembeesítő tényt.

A Franklin-féle paradigma később pontosan olyan meghatározó szerephez jutott a villamosság-tan egész területén, mint amelyet annak előtte a fluidumelmélet töltött be az e felfogáshoz csatlakozó kutatók körében. Segített meghatározni: mely kísérleteket érdemes elvégezni, és melyeket nem, mert az elektromosság másodlagos, illetve túl bonyolult megnyilvánulásaira irányulnak. Csakhogy ez a paradigma sokkal hatékonyabban töltötte be ugyanazt a szerepet. Részben azért, mert az iskolák közötti vita megszűnté véget vetett az alaptételek állandó ismételtetésének, részben pedig azért, mert a bizonyosság, hogy jó úton járnak, pontosabb, ezoterikusabb és fáradságosabb vállalkozásokra serkentette a tudósokat.⁹ Mivel nem kellett többé az összes és minden egyes elektromos jelenséggel foglalkozniuk, az e területen dolgozók egységes tudományos közösségként láthattak hozzá jól kiválasztott jelenségek sokkal aprólékosabb vizsgálatához, az ezekhez szükséges különböző speciális berendezések megszerkesztéséhez, melyekkel azután céltudatosabban és rendszeresebben dolgozhattak, mint tudományterületük

művelőinek bármelyik korábbi nemzedéke. Az anyaggyűjtés és az elméleti tisztázás gondosan irányított tevékenységgé vált. Következésképpen megnőtt a villamosságani kutatások hatékonysága és hatásfoka, bizonyítván Bacon találó módszertani megjegyzésének társadalmi érvényességét: „Könnyebben születik igazság a tévedésből, mint a fejtelenségből.”¹⁰

A következő fejezetben fogjuk megvizsgálni e gondosan irányított, más szóval paradigmára épülő kutatásnak a természetét, előbb azonban röviden át kell tekinteni, hogyan hat egy paradigma megjelenése a tudományterületet művelő közösség szerkezetére. Amikor valamely természettudomány fejlődése során egy személynek vagy csoportnak először sikerült olyan szintézist létrehoznia, mely képes magához vonzani a következő tudósnemzedék zömét, a régebbi iskolák fokozatosan eltűnnek. Eltűnésük egyik oka az, hogy tagjaik áttérnek az új paradigmára. Mindig akadnak azonban néhányan, akik ragaszkodnak egyik vagy másik korábbi irányzathoz. Ezeket egyszerűen kizárják a szakmából, s ettől fogva nem vesznek tudomást munkásságukról. Az új paradigma a tudományterület új és szigorúbb meghatározásával jár. Akik nem hajlandók vagy nem képesek munkájukat az új meghatározáshoz igazítani, kénytelen-kelletlen elszigetelődnek, vagy más csoporthoz kell csatlakozniuk.¹¹ Történelmi szempontból gyakran egyszerűen szakágai maradtak a filozófiának, amely oly sok szaktudománynak a szülője volt. Mindez arra vall, hogy olykor éppen egy paradigma elfogadása tesz foglalkozási vagy legalább diszciplináris csoporttá a természet tanulmányozása iránt azelőtt éppen csak érdeklődő embereket. A tudományok különböző ágaiban (kivéve például az orvostudományt, a műszaki tudományokat és a jogot, amelyeknek a fő létoka valamilyen külső társadalmi szükséglet) a szakfolyóiratok létrehozása, a szakmai egyesületek alapítása és annak az igénynek a bejelentése, hogy az illető tudomány kapjon helyet a főiskolai tantervben, általában akkor következett be, amikor egy csoport először fogadott el külön paradigmát. Legalábbis ez volt a helyzet abban a korszakban, amely százötven éve a tudományos szakosodás intézményes módjának kialakulásával kezdődött, és a közelmúltban zárult le, amikor a szakosodás kellékei önálló tekintélyhez jutottak.

A tudományos közösség szigorúbb meghatározása más következménnyel is jár. Ha a tudós egy paradigmát magától

értetődőnek tekinthet, nem kényszerül többé arra, hogy jelentősebb munkáiban megpróbálja alapjaitól újra fölépíteni tudományterületét és igyekezzék minden egyes bevezetett fogalom alkalmazását indokolni. Mindezt most már a kézikönyvek íróira lehet bízni. Egy kézikönyv birtokában az alkotó tudós ott kezdheti el a kutatást, ahol a kézikönyv abbahagyja az elemzést, és így figyelmét a természeti jelenségeknek kizárólag azokra a legbonyolultabb és legezoterikusabb mozzanataira összpontosíthatja, amelyek közösségét foglalkoztatják. Így dolgozván, a kutató közleményei lassan megváltoznak. E változás módjainak fejlődését mindeddig nem vizsgálták kellően, de újszerűsége és eredményessége mindenki számára nyilvánvaló, sokan pedig nyomasztónak is találják. Eredményeit a kutató már nem olyan könyvekben foglalja össze – mint Franklin *Experiments... on Electricity* (Kísérletek... az elektromosságban köréből) vagy Darwin *The Origin of Species* (A fajok eredete) című munkájában –, amelyek mindenkihez szólnak, aki esetleg érdeklődik tudományos témája iránt. A kutatási eredményeket rendszerint inkább rövid cikkekben közlik, amelyek csak a szakmabeliekhez szólnak, akikről föltételezhető a közös paradigma ismerete, és akik általában e közlemények egyedüli értő olvasóinak bizonyulnak.

Ma a természettudományos könyvek többsége vagy kézikönyv, vagy visszatekintő elmélkedés a tudományos élet egyik-másik aspektusáról. Inkább csorbítja, mint öregbíti a tudós szakmai hírnevét, ha ilyen munkát ír. A természettudományok területén általában csak a fejlődés korábbi, paradigma előtti korszakaiban állott a könyv olyan viszonyban a szakmai teljesítménnyel, mint amilyennel a szellemi alkotás más területein még ma is találkozunk. És csak azokon a területeken remélheti a laikus, hogy a tudósok eredeti beszámolóiból is követheti a fejlődést, ahol a szakmai elkülönülés körvonalai még olyan homályosak, hogy a könyv önmagában vagy a könyv és a szakcikk maradt a tudományos eredmények közlésének eszköze. A matematika és a csillagászat területén már az ókorban sem voltak érthetőek a kutatási beszámolók az általános műveltségű nagyközönség számára. A dinamikában a középkor végén vált a kutatás hasonlóan ezoterikussá, és csak rövid időre lett ismét közérthető: a XVII. század elején, amikor új paradigma lépett a középkori tudományt irányító régi helyébe. A villamosságani

kutatás eredményeit a XVIII. század vége felé már le kellett fordítani a laikusok számára, a XIX. század folyamán pedig elenyészett szinte a fizika összes többi területének közérthetősége. A XVIII. és XIX. századi biológiai tudományok különböző területein hasonló változások mutathatók ki. Feltehetőleg ugyanilyen folyamat megy végbe jelenleg a társadalomtudományok bizonyos ágaiban. Megszokottá vált az a panasz, hogy egyre mélyülő szakadék választja el a szaktudósokat más területeken dolgozó kollégáiktól. A sajnálkozás jogos. Nem fordítanak azonban kellő figyelmet arra, hogy lényeges összefüggés van e szakadék és a tudomány haladásának belső mechanizmusa között.

A történelem előtti időktől fogva sorra lépik át a kutatás különböző területei azt a választóvonalat, melyet a történelem legszívesebben az egyes tudományok előtörténete és igaz története közötti határnak nevezne. Az érettség szakaszába való átmenet ritkán zajlik le olyan gyorsan és egyértelműen, mint ahogy az én szükségképpen sematikus tárgyalásmódom esetleg sejteti. Másrészt azonban ezek az átalakulások nem is fokozatosan mentek végbe, hiszen ebben az esetben ugyanannyi idő alatt kellett volna megtörténniük, mint az adott tudományterület teljes kifejlődése. A villamosságtannal foglalkozó szerzők a XVIII. század első négy évtizedében sokkal több információval rendelkeztek az elektromos jelenségekről, mint XVI. századi elődjek. Az 1740 utáni fél évszázad alatt kimutatásaik kevés újfajta elektromos jelenséggel bővültek. Úgy látszik, Cavendish, Coulomb és Volta villamosságtani írásai a XVIII. század utolsó harmadában több fontos szempontból mégis távolabb állnak Gray, Du Fay vagy akár Franklin munkáitól, mint e XVIII. század eleji felfedezőik művei XVI. századi elődjek tudományos közleményeitől.¹² Az elektromosságtan fejlődése valamikor 1740 és 1780 között érte el azt a fokot, amikor a kutatók tudományterületük alapjait már biztosnak tekinthették. Erről a ponttól haladtak tovább konkrétabb és nehezebb problémák felé, és eközben eredményeiket egyre inkább a szakmabelieknek szánt cikkekben, s egyre ritkábban az egész művelt közönségnek szóló könyvekben hozták nyilvánosságra. Elérték azt, ami a csillagászoknak már az ókorban, a mozgással foglalkozó tudósoknak a középkorban, a fizikai optika kutatóinak a XVII. század végén, a történelmi földtan művelőinek pedig a XIX. század

elején sikerült: létrejött egy paradigma, amely alkalmasnak bizonyult mindannyiuk kutatómunkájának irányítására. Csak a visszafelé tekintés előnyének birtokában találhatnánk más kritériumot, mely ennyre világosan utal egy kutatási terület tudománnyá válására.

III. A NORMÁL TUDOMÁNY TERMÉSZETE

Hogyan jellemezhetjük hát azt az immár ezoterikusabb és szakszerűbb kutatómunkát, amely azáltal válik lehetővé, hogy valamely tudóscsoport egységesen elfogad egy bizonyos paradigmát? Ha ez a paradigma egyszer s mindenkorra elvégzett kutatómunkát jelképez, milyen megoldandó problémákat hagy az egységessé vált csoport számára? E kérdések még nyomatékosabbnak tűnnek, ha észrevesszük, hogy az eddig használt terminusok egy tekintetben könnyen félrevezethetnek bennünket. Bevett használata szerint a paradigma elfogadott modellt vagy mintát jelent. Ez a jelentése tette lehetővé számomra – jobb szó híján – a „paradigma” kifejezés alkalmazását. Hamarosan kiderül azonban, hogy a „modell” és a „minta” szónak az a jelentése, amely lehetővé teszi terminusunk alkalmazását, nem egészen azonos azzal, amely általában a „paradigma” meghatározásában szerepel. Így például a nyelvtanban „*amo, amas, amat*” paradigma, mivel sok más latin ige ragozáshoz használt mintául szolgál (például: „*laudo, laudas, laudat*”). Az ilyen szabályos alkalmazás során a paradigma úgy működik, hogy lehetővé teszi a példák szaporítását, s egyben e példák bármelyike helyettesítheti a paradigmaként megadottat. Ezzel szemben a tudományban a paradigma ritkán szerepel utánczás tárgyaként. Új vagy szigorúbb feltételek között inkább további kifejtés és részletezés tárgya, mint a polgári jogban egy-egy szokásossá vált bírósági végzés.

Ha magyarázatot akarunk találni erre, látnunk kell, hogy első megjelenésekor mennyire korlátozott egy paradigma mind érvényességének körét, mind pontosságát illetően. A paradigmák annak köszönhetik helyzetüket, hogy segítségükkel versenytársaiknál sikeresebben lehet megoldani néhány olyan problémát, amelyet a kérdéses tudományterületen tevékenykedők időszzerűnek tartanak. Sikeresebb, de ez sem azt nem jelenti, hogy egy probléma megoldásában teljesen sikeres, sem azt, hogy

bármily sok probléma megoldásában nagyon sikeres. Egy paradigma sikere – legyen az akár Arisztotelész elemzése a mozgásról, akár Ptolemaiosz számításai a bolygók helyzetéről, akár mérleg alkalmazása Lavoisier-nél, vagy az elektromágneses tér Maxwell-féle matematikai leírása – eleinte inkább csak a siker reménye, amelyet kiválasztott és még hiányos példák kínálnak. A normál tudomány lényege ennek a reménynek a beteljesítése; ez pedig úgy érhető el, ha mind több olyan tényt ismernek meg, amelyet a paradigma különösen megvilágító erejűnek mutat, ha e tényeket és a paradigma előrejelzéseit egyre inkább összhangba hozzák egymással, és ha még jobban kifejtik magát a paradigmát.

Azok közül, akik nem valamely érett tudomány tényleges művelői, kevesen tudják, mennyi ilyen aprólékos részfeladatot kell még elvégezni egy paradigma kialakulása után, és milyen lebilincselőnek bizonyulhat ez a munka a gyakorlatban. Ezt pedig meg kell érteni. A legtöbb tudóst pályafutása alatt aprólékos részfeladatok foglalkoztatják, ezek alkotják azt, amit normál tudománynak nevezek. Akár történetileg, akár a mai laboratóriumi munkát szemügyre véve vizsgáljuk meg közelebbről az efféle tudományos tevékenységet, arra irányuló kísérletnek látszik, hogy a természetet a paradigmából adódó, előre kialakított és elég merev keretbe erőszakolják bele. A normál tudomány semmiképpen sem törekszik újfajta jelenségek előidézésére, sőt a sémákba nem illő jelenségeket gyakran teljesen figyelmen kívül hagyja. A tudósok rendszerint új elméleteket sem akarnak kitalálni, s gyakran a mások által kigondolt új elméletekkel szemben is türelmetlenek.¹ A normál tudomány keretében folyó kutatás inkább a paradigmával járó jelenségek és elméletek összekapcsolására irányul.

Ezek talán szerkezeti hibák. A normál tudomány által vizsgált területek természetesen nagyon kicsinyek; a most tárgyalt folyamat erősen beszűkíti a látókört. Ezek a paradigmába vetett bizalomból származó korlátozások azonban a tudományos fejlődés elemeinek bizonyulnak. A figyelmet viszonylag ezoterikus problémák kis körére irányítva, a paradigma arra kényszeríti a tudósokat, hogy a természet egy bizonyos részét olyan részletesen és mélyen vizsgálják, ami másképp elképzelhetetlen volna. Azonkívül a normál tudomány beépített mechanizmusa biztosítja a kutatást megkötő korlátozások lazulását, mihelyt e

korlátok forrása, a paradigma már nem működik hatékonyan. Ezen a ponton megváltozik a tudósok viselkedése és kutatási problémáik természete is. Addig azonban, amíg a paradigma sikeresen működik, a szakma olyan problémákat is megold, amelyeket korábban a közösség tagjai még elképzelni is alig tudtak volna, s amelyekkel soha nem kezdtek volna foglalkozni, ha nem kötelezik el magukat a paradigmának. És ezeknek az eredményeknek legalább egy része mindig maradandónak bizonyul.

Hogy világosabbá tegyem, mit értek normál vagy paradigmára alapozott kutatáson, megkísérlem osztályozni és példákkal szemléltetni a normál tudomány fő problémáit. Az egyszerűség kedvéért az elméleti munka tárgyalását későbbre halasztom, és először az adatgyűjtéssel foglalkozom, azaz a szaklapokban leírt kísérletekkel és megfigyelésekkel. A tudósok e szakmai folyóiratok révén tájékoztatják kollégáikat folyamatban lévő kutatásaikról. Milyen természeti jelenségekről számolnak be a tudósok? Mi határozza meg választásukat? S mivel a legtöbb tudományos megfigyelés sok időt, felszerelést és pénzt emészt fel – mi készíti a tudósokat arra, hogy a végsőkig kitartsanak választásuk mellett?

Úgy gondolom, a normál tudományban mindössze három fő területen zajlik a tárgyi kutatás. Ezek nem mindig különíthetők el egymástól, és az egyes területek közötti határok nem állandóak. Az első a tényeknek az a csoportja, melyek a paradigma fényében különösen sokat tárnak fel a dolgok természetéről. Problémák megoldására használván e tényeket, érdemes őket a paradigma segítségével pontosabban és több különböző helyzetben meghatározni. Ilyen fontos tényszerű meghatározások voltak egyik-másik történelmi időszakban: a csillagászatban a csillagok pozíciója és fényrendje, a fedési kettős csillagok és a bolygók periódusai; a fizikában az anyagok fajsúlya és összenyomhatósága, a hullámhosszak és a spektrumintenzitások, a fajlagos elektromos vezetőképesség és a Volta-hatás; a kémiában pedig a vegyületek és az egyenértéksúlyok, az oldatok forráspontja és savassága, a szerkezeti képletek és az optikai aktivitások. A kísérleti és megfigyelésekkel dolgozó tudományok irodalmának jelentős részében arról adnak számot a kutatók, hogy hogyan próbálják növelni az említettekhez hasonló tények hitelességét és körét. Újabb és újabb bonyolult, különle-

ges berendezéseket terveznek ilyen célokra, s e berendezések kitalálásához, megépítéséhez és munkába állításához kiváló képességekre, sok időre és pénzügyi támogatásra van szükség. A szinkrotronok és a rádiócsövek a legfrissebb bizonyíték arra, milyen hatalmas erőfeszítésekre hajlandók a kutatók, ha egy paradigma biztosítja őket az általuk kutatott tények fontosságáról. Tycho Brahétól E. O. Lawrence-ig számos tudós nem felfedezéseinek újszerűségével szerzett nagy hírnevet, hanem azzal, hogy pontos, megbízható és széles körben alkalmazható módszert dolgozott ki a tények korábban is ismert csoportjának új meghatározására.

A tárgyi meghatározások másik ismert, bár kisebb csoportja olyan tényekre irányul, melyek gyakran önmagukban kevésbé érdekesek ugyan, de közvetlenül összevethetők a paradigmatis elméletből következő előrejelzésekkel. Mint hamarosan látni fogjuk – amikor áttérek a normál tudomány keretében folyó kísérletekről elméleti problémákra –, ritkán fordul elő, hogy valamely tudományos elméletet, különösen, ha az jobbra matematikai formában nyer megfogalmazást, számos területen közvetlenül össze lehetne vetni a természettel. Mindmáig csak három ilyen terület nyílt az Einstein-féle általános relativitáselmélet számára.² Azonkívül, még ahol lehetséges is ez az összevetés, gyakran olyan elméleti és műszeres megközelítéseket igényel, amelyek erősen korlátozzák a várható összhangot. Az a feladat, hogy növeljék az egyezést, vagy találjanak olyan területeket, amelyeken egyáltalán kimutatható valamiféle egyezés, állandó kihívás a kísérletezők és megfigyelők szakértelmével és képzeletével szemben. A Kopernikusz által feltételezett évi parallaxis bizonyítására épített különleges távcsövek, az Atwood-féle ejtőgép, amelyet közel egy évszázaddal a *Principia* után találtak föl, hogy végre egyértelműen bizonyítsák Newton második törvényét; Foucault készüléke, amely annak kimutatására szolgált, hogy a fény sebessége nagyobb a levegőben, mint a vízben; vagy az az óriási szcintillációs számláló, amelyet a neutrínó létezésének bizonyítására szántak – e speciális berendezések és sok más hasonló készülék mind egy-egy esete rengeteg erőfeszítésnek és találékonyságnak, amelyre azért volt szükség, hogy a természet és az elmélet minél pontosabban megfeleljen egymásnak.³ Az a vállalkozás, hogy a természetnek és az elméletnek ezt az egyezését kimutassák, a normál kísérleti

munka második típusa, s ez még az elsőnél is szembetűnőbben függ egy paradigmától. A paradigma léte veti fel a megoldandó problémát; a probléma megoldására használható apparátus tervezete gyakran közvetlenül tartalmazza a paradigmátikus elméletet. Például a *Principia* nélkül az Atwood-féle ejtőgéppel végzett mérések egyszerűen értelmetlenek lettek volna.

A kísérletek és megfigyelések harmadik csoportjával, úgy gondolom, ki is merül a normál tudományos adatgyűjtő tevékenység. Az ebbe a csoportba sorolható tudományos munka empirikus jellegű, célja a paradigmátikus elmélet világos kifejtése, a fennmaradt bizonytalanságok eloszlatása és olyan problémák megoldásának lehetővé tétele, amelyekre korábban éppen csak fölfigyeltek. Ez a csoport a legfontosabb, s leírásához további felosztásra is szükség van. A komolyabb matematikai apparátussal dolgozó tudományokban az elméletek kifejtésére irányuló kísérletek egy részének célja fizikai konstansok meghatározása. Művében Newton megállapította például, hogy két egymástól egységnyi távolságra levő egységnyi tömeg között a világmindenségben mindenhol ugyanaz az erő lép föl, függetlenül az anyag fajtájától. Newton megoldhatta az általa fölvetett kérdéseket anélkül, hogy akár csak felbecsülte volna e vonzás nagyságát, az egyetemes gravitációs állandót, és a *Principia* utáni évszázadban mások sem szerkesztettek ennek megállapítására alkalmas berendezést. Cavendishnek az 1790-es évekből származó, híres meghatározása sem az utolsó kísérlet volt. Mivel a gravitációs állandó központi helyet foglal el az elméleti fizikában, azóta is több kiváló kísérletező tudós próbálkozott pontosabb számszerű megállapításával.⁴ A kutatómunkának ugyanehhez a fajtájához sorolható még a csillagászati egység meghatározása, az Avogadro-szám, a Joule-féle együttható, az elemi töltés stb. E bonyolult kísérletek közül keveset lehetett volna akár csak elképzelni is – megvalósítani pedig egyet sem – olyan paradigmátikus elmélet híján, amely meghatározza a problémát, és szavatolja valamilyen megbízható megoldás létezését.

A paradigmák teljes kifejtésére irányuló törekvések azonban nem korlátozódnak az egyetemes állandók meghatározására. Például mennyiségi törvények felállítására is törekedhetnek hasonló kutatások során: Boyle törvénye a gázok nyomása és térfogata között állapít meg összefüggést, Coulomb törvénye az

elektromos töltések közötti vonzóerő nagyságát fogalmazza meg, Joule képlete pedig a villamos ellenállás és az áramerősség, valamint a termelt hő közötti viszonyt fejezi ki. Talán nem nyilvánvaló, hogy az ilyenfajta törvények fölfedezésének előfeltétele egy-egy paradigma. Gyakran találkozunk azzal a vélekedéssel, hogy az ilyen összefüggéseket a mérések öncélú, elméleti kötöttség nélküli ellenőrzése során fedezik föl. A tudományok története azonban nem igazolja, hogy az alkalmazott módszer ilyen szélsőségesen baconi volna. Boyle kísérletei elképzelhetetlenek lettek volna mindaddig, amíg a levegőt nem kezdték rugalmas fluidumnak tekinteni, amelyre így alkalmazhatták a hidrosztatika alaposan kidolgozott fogalomkészletét. (Ha pedig mégis fölmerült volna e kísérletek ötlete, másképp – vagy egyáltalán nem – értelmezték volna őket.)⁵ Coulomb annak köszönhette sikerét, hogy különleges készüléket szerkesztett a pontszerű töltések között fellépő erő mérésére. (Azok, akik korábban közönséges serpenyős mérlegekkel és más hasonló eszközökkel mérték az elektromos térerőt, nem találtak semmiféle állandó vagy egyszerű szabályszerűséget.) Ennek a készüléknek a létrehozását pedig csak az az előzetes felismerés tette lehetővé, hogy bizonyos távolságon belül az elektromos fluidum minden részecskéje hat az összes többire. A részecskék között fellépő erőt kereste Coulomb; csak erről az erőről lehetett joggal fölteni, hogy a távolság egyszerű függvénye.⁶ Joule kísérletei is jól illusztrálhatják, hogyan alakulnak ki mennyiségi törvények a paradigmátikus kifejtés során. Olyannyira általános és szoros az összefüggés a kvalitatív paradigma és a kvantitatív törvény között, hogy – Galilei óta – valamely paradigma segítségével sokszor helyesen becsültek meg egyes mennyiségi összefüggéseket évekkal a kísérleti meghatározásukhoz szükséges berendezések megszerkesztése előtt.⁷

Végül, van a paradigmák kifejtését célzó kísérleteknek egy harmadik fajtája. Ezek az előbb említetteknel közelebb állnak a felfedezéshez, s azokban az időszakokban és azokban a tudományokban különösen elterjedtek, amikor és ahol többet foglalkoznak a természetben rejlő szabályszerűség minőségi mozzanataival, mint a mennyiségiakkal. Gyakran kétséges, hogy a jelenségek egy csoportjának magyarázatára létrehozott paradigma miként alkalmazható az előbbiekkal szorosan összefüggő más jelenségekre. Ilyen esetekben kísérletekre van szük-

ség annak eldöntéséhez, hogy a paradigma többféle alkalmazási módja közül melyiket használjuk az új érdeklődési területen. A hőelmélet paradigmatisztikus alkalmazása volt például a keveréssel és állapotváltoztatással végzett melegítés és hűtés. Hő azonban sok más módon is felszabadulhat és elnyelődhet – például kémiai egyesülés, sűrűlódás, gázok összenyomása és abszorpciója során –; és e különböző jelenségek mindegyikére másképpen alkalmazható az elmélet. Ha például a vákuumnak van hőkapacitása, akkor a sűrítéssel végzett melegítés a gáz és a légtüres tér keveredésével magyarázható, vagy pedig annak tulajdonítható, hogy a nyomás változásával változik a gázok fajhője. Még egyéb magyarázatok is felmerültek. Számos kísérletet hajtottak végre, hogy alaposan kidolgozzák és elkülönítsék e lehetőségeket. Mindezek a kísérletek a hőelméletből mint paradigmából eredtek, s mindegyik kiaknázza a hőelméletet a kísérletek megtervezése és az eredmények értelmezése során.⁸ Mivel kimutatták a jelenséget – tudniillik, hogy sűrítéssel melegíteni lehet –, minden e területen folyó kísérlet alárendelődött a paradigmának. Ha már adott volt a jelenség, másképp hogyan lehetett volna kiválasztani a magyarázatra alkalmas kísérletet?

Most pedig fordítsuk figyelmünket a normál tudomány elméleti kérdéseire; ezek majdnem ugyanolyan csoportokra oszlanak, mint a kísérletek és megfigyelések. A normál elméleti munka egy részének – habár csak kis részének – egyszerűen az a lényege, hogy a meglévő elméletet önmagukban is értékes tárgyi adatok előrejelzésére használják. Néhány ilyen feladat: csillagászati táblázatok összeállítása, lencsék jellemzőinek kiszámítása, rádióhullámok terjedését leíró görbék készítése. A tudósok azonban rendszerint robotnak tekintik az ilyen munkát, és mérnökökre vagy technikusokra bízják. Sohasem jelenik meg sok ilyen közlemény a jelentős tudományos folyóiratokban. Ugyan-ezekben a lapokban viszont sok olyan elméleti kérdéstről folytatnak vitát, amelyeket a nem tudós alig tud megkülönböztetni az előbbiektől.

Ezek olyan elméleti műveletek, amelyeket nem azért végeznek, mert a belőlük adódó előrejelzések önmagukban is értékesek, hanem azért, mert e predikciók közvetlenül összevethetők a kísérlettel. Az ilyen elméleti műveletek célja az, hogy föltárják a paradigma alkalmazásának valamely új lehetőségét, vagy fokozzák egy már kipróbált alkalmazás pontosságát.

Az efféle munkát az teszi szükségessé, hogy gyakran hatalmas nehézségek merülnek föl egy elmélet és a természet közötti érintkezési pontok föltárása közben. E nehézségeket röviden a dinamika Newton utáni történetének áttekintésével világíthatjuk meg. Azok a tudósok, akik már a XVIII. század elején a *Principiában* lelték meg paradigmájukat, az abban foglalt következtetések általános érvényességét magától értetődőnek tekintették; meg is volt erre minden okuk. A tudomány története nem ismer még egy művet, amely ilyen mértékben megnövelte volna a kutatás hatókörét és egyszersmind pontosságát is. Az égi mechanikában Newton levezette a bolygómozgás Kepler-féle törvényeit, és megnyugtatóan tisztázta azokat a megfigyelt összefüggéseket, amelyek szerint a Hold nem engedelmeskedik ezeknek a törvényeknek. A földi jelenségek mechanikájában levezette az ingákra és az árapályjelenségekre vonatkozó szórványos megfigyelések eredményeit. Kiegészítő, bár *ad hoc* jellegű feltételek segítségével sikerült levezetnie a Boyle-törvényt és egy fontos képletet, amely a levegőben terjedő hang sebességét fejezi ki. Ha a tudomány akkori fejlettségét vesszük figyelembe, Newton bizonyításainak sikere lenyűgöző. Ahhoz képest viszont, hogy törvényeit Newton általános érvényűnek vélte, nem sok területre alkalmazta őket, az említetteken kívül úgyszólván nem is tudunk többről. Ahhoz viszonyítva pedig, hogy mit tud elérni bármely mai felsőéves fizika szakos egyetemi hallgató ugyanezekkel a törvényekkel, Newton még az általa felvetett néhány alkalmazási lehetőséget sem dolgozta ki pontosan. Végül, a *Principia* célja elsősorban égi mechanikai problémák megoldása volt. Egyáltalán nem volt világos, hogyan kell alkalmazni földi viszonyokra, különösen a kényszermozgásokra. Mindenesetre a földi problémákat már nagyon sikeresen kezdték megoldani egészen másfajta eljárásokkal; ezeket eredetileg Galilei és Huygens dolgozta ki, majd a XVIII. században a három Bernoulli, d'Alembert és sok más tudós fejlesztette tovább. Gyanították, hogy eljárásaik és a *Principiában* alkalmazott technikák csak különleges esetei egy általánosabb szabályrendszernek, egy ideig azonban senki sem tudta, hogyan mutatható ez ki.⁹

Most csak a pontosság kérdésével foglalkozunk. Ennek empirikus vonatkozását már érzékeltettük. A newtoni paradigma konkrét alkalmazásához elengedhetetlen speciális adatok össze-

gyűjtéséhez különleges felszerelésre volt szükség; ilyen volt Cavendish készüléke, az Atwood-féle ejtőgép, és ilyenek voltak a tökéletesített távcsövek. Az összhang kialakítása közben hasonló nehézségek merültek föl az elmélet oldaláról is.

Amikor például az ingákra alkalmazta törvényeit Newton, kénytelen volt az ingasúlyt pontszerű tömegnek tekinteni, hogy egyértelműen meghatározhassa az inga hosszát. Legtöbb tételében – kivéve a hipotetikus és előkészítő jellegűeket – figyelmen kívül hagyta a légellenállást. Ezek kifogástalan fizikai megközelítések voltak mint megközelítések, mégis korlátozták a Newton előrejelzései és a tényleges kísérletek között várható összhang mértékét. Ugyanezek a nehézségek még tisztábban láthatók, ha Newton törvényeit az égi mechanikai jelenségekre alkalmazzuk. Egyszerű távcsöves mennyiségi észleletek is elárulják, hogy a bolygók nem teljesen engedelmeskednek Kepler törvényeinek, Newton elmélete pedig arról tanúskodik, hogy nem is kell engedelmeskedniük. Törvényeinek levezetéséhez Newton kénytelen volt mellőzni az egész tömegvonzást az egyes bolygók és a Nap közötti vonzóerő kivételével. Mivel a bolygók egymást is vonzzák, az alkalmazott elmélet és a távcsöves észlelés között csak megközelítő egyezést lehetett várni.¹⁰

Természetesen az elért összhangot is bőven elegendőnek találták azok, akik elérték. Néhány földi mechanikai probléma kivételével egyetlen más elmélet sem volt képes még megközelíteni sem ezt a teljesítményt. A Newton elméletének érvényességében kételkedők közül senki sem azért vitatta azt, mert nem eléggé egyezett a kísérletekkel és megfigyelésekkel. Az összhang korlátozottsága miatt mégis számos izgalmas probléma maradt Newton utódaira. Elméleti módszerek kellettnek például a kettőnél több, egymást kölcsönösen vonzó test mozgásának leírásához, a perturbált pályák stabilitásának vizsgálatához. A XVIII. században és a XIX. század elején a legjobb európai matematikusok közül sokan foglalkoztak ilyenfajta problémákkal. Euler, Lagrange, Laplace és Gauss legnagyobb műveik egy részében arra törekedtek, hogy tökéletesebbé tegyék az összhangot a newtoni paradigma és az égi jelenségek körében tapasztaltak között. Egyszerre sok tudós dolgozott a sem Newton, sem a korabeli európai mechanikai iskolák által ki sem próbált alkalmazási területeken szükséges matematikai apparátus kifejlesztésén. Rengeteget írtak például a hidrodinamikáról és a

rezgő húrok problémájáról, sőt ki is alakítottak néhány igen hatékony matematikai eljárást e problémák megoldására. Alkalmassint ezek az alkalmazási problémák eredményezték a XVIII. században a legragyogóbb és legfáradságosabb tudományos munkálatokat. Ha megvizsgáljuk a paradigma utáni időszakot, más példákat is fölfedezhetünk a termodinamikának, a fény hullámelméletének, az elektromágneses elméletnek vagy a természettudomány bármely más olyan ágának a fejlődésében, amelynek az alaptörvényei teljesen mennyiségi jellegűek. A nagyobb matematikai apparátust alkalmazó tudományokban biztosan ilyen a legtöbb elméleti munka.

De nem minden elméleti munka ilyen. Még a matematikai tudományokban is vannak elméleti problémái a paradigma kifejtésének; azokban az időszakokban pedig, amikor a tudomány túlnyomóan minőségileg fejlődik, ezek a problémák dominálnak. A problémák egy része – az inkább mennyiségi tudományokban éppúgy, mint az inkább minőségiekben – egyszerű újrafogalmazással tisztázható. A *Principia* például nem mindig bizonyult könnyen alkalmazhatónak, részben azért, mert szükségképpen magán viselte az első vállalkozásokra jellemző nehézkesség jegyeit, részben pedig azért, mert értelmének nagy része alkalmazásaiban csak implicit módon nyilvánult meg. Mindenesetre, Newton elméletének sok földi mechanikai jelenségre való alkalmazása során sokkal hatékonyabbnak mutatkoztak az európai kontinensen látszólag más célra kidolgozott eljárások. Ezért a XVIII. századtól, Eulertól és Lagrange-tól a XIX. századig, Hamiltonig, Jacobiig és Herzig Európa legnagyobb matematikai fizikusai több ízben megpróbálták újrafogalmazni a mechanikai elméletet egy vele egyenértékű, de logikailag és esztétikailag kielégítő formában. A *Principia* és a kontinentális mechanika explicit és implicit tanulságai logikailag következetesebbé akarták tenni, azaz e tanulságoknak olyan változatát kívánták bemutatni, amely egységesebb lesz, és kevésbé félreérthető, amikor a mechanika újra fölmerült problémáira alkalmazzák.¹¹

Ismételten előfordult minden tudományban, hogy egy paradigmát ilyenformán újrafogalmaztak, csak hogy ez a legtöbb esetben lényegesebb változásokat eredményezett a paradigmában, mint a *Principia* fent említett újrafogalmazásai. Az ilyen változások oka az az empirikus munka, amelyet korábban a

paradigma kifejtését célzó tevékenységként jellemeztünk. Valójában önkényesen jártunk el, amikor az ilyenfajta munkákat az empirikus vizsgálódás körébe soroltuk. A normál kutatásnak erre a csoportjára az összes többenél inkább érvényes, hogy a paradigma kifejtésének problémái egyszerre elméletiek és kísérletiek; az előzőleg bemutatott példák itt is jól megfelelnek. Mielőtt Coulomb megszerkesztette volna berendezését és elkezdett volna méréseket végezni vele, alkalmaznia kellett az elektromosságtant, hogy eldönthesse, hogyan kell megépíteni készülékét. Mérései eredményeként azután tökéletesítette az elméletet. Vagy a másik példa: nagyjából ugyanazok gondoltak ki kísérleteket, hogy elkülönítsék az összenyomással végzett melegítésre vonatkozó különböző elméleteket, akik megfogalmazták az összehasonlítható változatokat. A valósággal és az elmélettel is foglalkoztak egyidejűleg, munkájuk eredménye pedig nem egyszerűen új információ volt, hanem pontosabb paradigmához jutottak azáltal, hogy kiküszöbölték az eredeti, munkájuk kiindulópontját alkotó paradigmában még meglévő kétértelműségeket. Sok tudományban legnagyobb részben ilyen jellegű a normál munka.

Úgy gondolom, a problémáknak ezt a három csoportját – a lényeges tény meghatározását, a tények összehangolását az elmélettel és az elmélet teljes kifejtését – öleli fel a tapasztalati és elméleti normál tudományos irodalom. Ezek természetesen nem merítik ki teljesen az egész tudományos irodalmat. Vannak rendkívüli problémák is, és lehet, hogy éppen ezek megoldása teszi az egész tudományos vállalkozást munkánkra érdemessé. Rendkívüli problémák azonban nem adódnak kívánságunk szerint bármikor, hanem csak a normál kutatás előrehaladása nyomán kialakuló, különleges helyzetekben. Így tehát általában még a legkiválóbb tudósok által kutatott problémák döntő többsége is szükségképpen az itt vázolt három csoport valamelyikébe tartozik. A paradigma alapján folytatott kutatásnak nincs más útja, a paradigma cserbenhagyása pedig az általa meghatározott tudomány gyakorlásának a feladásával jár. Mint hamarosan látni fogjuk, előfordulnak ilyen áruhájak. Ezek a tudományos forradalmak új irány kezdetét jelző sarkpontjai. Mielőtt azonban megkezdénénk a tudományos forradalmak vizsgálatát, teljesebb áttekintésre van szükségünk a normál tudományos törekvésekről, hiszen ezek készítik elő a forradalmakhoz vezető utat.

IV. A NORMÁL TUDOMÁNY MINT REJTVÉNYFEJTÉS

Azoknak a normál kutatási problémáknak, amelyekkel az imént találkoztunk, talán legszembetűnőbb sajátossága, hogy akár fogalmi, akár jelenségszinten mily kevésbé ösztönöznek újításokra. Némelykor, például a hullámhosszmérések esetében, a legezoterikusabb részletek kivételével előre ismert az eredmény, és átlagos esetben is csak alig nagyobb az eltérés a várt és a ténylegesen elért eredmény között. Elképzelhető volt, hogy Coulomb mérései nem feltétlenül fordított négyzetes összefüggést adnak, akik az összenyomással végzett melegítést vizsgálták, sokszor több lehetséges eredmény bármelyikére fölkészültek. De még ezekben az esetekben is mindig kicsiny az előre sejtett, és így az elméletbe illeszthető eredmények köre az egyáltalán elképzelhető eredmények köréhez képest. Az a kutatási program pedig, amelynek kimenetele nem fér bele ebbe a szűkebb körbe, általában egyszerűen kudarc, s nem a természetre, hanem a tudósra jellemző.

Például a XVIII. században nemigen figyeltek azokra a kísérletekre, amelyek során serpenyős mérleggel és hasonló egyszerű eszközökkel mérték az elektromos vonzást. Mivel a kísérletek eredményei nem voltak sem egyenletesek, sem egyszerűek, használhatatlannak bizonyultak forrásuk, a paradigma kifejtésére. Ezért csak tények maradtak, nem függtek össze, és nem is lehetett összefüggésbe hozni őket az elektromosságtani kutatások fejlődésével. Csak visszatekintve, egy későbbi paradigma birtokában vagyunk képesek felfogni, hogy az elektromos jelenségek milyen sajátosságait fedik fel azok a kísérletek. Természetesen Coulomb és kortársai is birtokában voltak e későbbi paradigmának vagy valaminek, ami a vonzás problémájára alkalmazva kielégítette a paradigmával szembeni várakozásokat. Ezért volt képes Coulomb olyan készüléket szerkesztetni, amely a paradigma kifejtésébe jól beépíthető eredményt adott. Ez az oka azonban annak is, hogy az eredmény senkit sem lepett meg,

és Coulomb több kortársa is képes volt előre megjósolni. Még a paradigma kifejtésére irányuló kutatási programnak sem *váratlan* újdonság a célja.

Ha azonban a normál tudomány célja nem lényeges újdonságok elérése – ha az előre várt eredmény elmaradása rendszerint magának a tudósnak a kudarca –, akkor egyáltalán miért vállalkoznak ilyen feladatokra? Erre a kérdésre részben már válaszoltunk is. A normál tudomány keretében folyó kutatómunka eredményei – legalábbis a tudósok számára – azért fontosak, mert növelik a paradigma alkalmazásának körét és pontosságát. Mindazonáltal ez a válasz nem magyarázza meg kielégítően azt a lelkesedést és odaadást, melyet a tudósok a normál kutatási problémák iránt tanúsítanak. Senki sem áldoz éveket egy jobb spektrométer kifejlesztésére vagy a rezgő húrok problémájának tökéletesebb megoldására pusztán azért, mert a végül megszerzett információ fontos. Gyakran épp ennyire fontosak a csillagászati táblázatok kiszámítása vagy egy meglévő műszerrel végzett további mérések révén nyerhető adatok is, de a tudósok az ilyen feladatokat rendszerint hevesen visszautasítják, mert nagyrészt csak ismétlései már korábban is alkalmazott eljárásoknak. Ez lehet a magyarázata a normál kutatási problémák vonzerejének. Bár az ilyen problémák megoldása előre látható, mégpedig gyakran olyan részletekbe menően, hogy a még megismerendő önmagában szinte már érdektelen, az eredményhez vezető út a vizsgálat elvégzéséig kérdéses marad. Egy normál kutatási probléma megoldása azt jelenti, hogy az előre sejtett eredményt új módon érik el, és ehhez mindenféle bonyolult műszeres, fogalmi és matematikai rejtvényeket kell megoldani. Akinek sikerül, gyakorlott rejtvényfejtővé lesz, a rejtvény kihívást jelent számára, ami további munkájának egyik fő hajtóereje.

A „rejtvény” és a „rejtvényfejtő” kifejezések kiemelnek néhányat az előző lapokon egyre fontosabbá váló témák közül. A rejtvény szót itt a legközönségesebb értelemben használom; a rejtvények sajátos problémacsoportot alkotnak, s alkalmasak a megoldásbeli találékonyság vagy hozzáértés kipróbálására. Példa lehet a „kirakós játék” vagy a „keresztrejtvény”; az ilyesfajta játékoknak a normál tudományos problémákkal közös jellemzőit kell most kiemelnünk. Egyről már szóltunk: egy rejtvény minőségének nem az a kritériuma, hogy megfejtése önmagában érdekes vagy jelentős-e. Épp ellenkezőleg, az igazán

súlyos problémák, mint például a rák gyógyítása vagy a tartós béke biztosítása, többnyire egyáltalán nem rejtvények, főleg azért, mert lehet, hogy nincs megoldásuk. Vegyünk például egy olyan kirakós játékot, amelynek egyes darabjait két különböző készletből találomra választották ki. Mivel ez a feladat valószínűleg (ha nem is szükségképpen) dacol még a legleleményesebb emberrel is, nem lehet a megoldási készség próbája. A szó elfogadott jelentése szerint ez egyáltalán nem is rejtvény. Az értékes megoldás önmagában nem kritériuma a rejtvénynek, viszont a megoldhatóság bizonyossága igen.

Mint láttuk, a tudományos közösség a paradigma elfogadásával olyan problémák kiválasztására használható kritériumhoz jut többek között, amelyeknek feltehetőleg mindaddig van megoldásuk, amíg a paradigmát vitathatatlanak tekintik. A tudományos közösség jobbra csak ezeket ismeri el tudományos problémaként, s ezek vizsgálatára ösztönzi tagjait. Az egyéb kérdéseket – köztük sok korábban alapvetőnek tartott kérdést is – elhárítják, mondván, hogy azok a metafizika körébe vagy más tudományágra tartoznak, néha pedig azzal az indoklással, hogy túl problematikusak, semhogy megérnék a rájuk fordított időt. Emellett némely paradigma esetleg el is szigeteli a tudományos közösséget társadalmilag fontos problémáktól, mivel azok nem egyszerűsíthetők le a rejtvényformára, ugyanis nem fejezhető ki a paradigma nyújtotta fogalom- és eszközkészlet kategóriáival. Az ilyen problémák legfeljebb kikapcsolódásra valók; remek példák erre a XVII. századi baconizmus és a mai társadalomtudomány egyes témái. Részben azért látszik a normál tudomány fejlődése annyira gyorsnak, mert művelői olyan problémákra összpontosítják figyelmüket, amelyeknek a megoldásában csak saját leleményességük hiánya gátolja őket.

Ha viszont a normál tudomány problémái ebben az értelemben rejtvények, akkor most már világos, hogy a tudósok miért foglalkoznak velük olyan szenvedéllyel és odaadással. Különbeféle indítékokból vonzódnak emberek a tudományhoz. Csak néhányat említünk: hasznosak akarnak lenni, új területek feltárása csábítja őket, remélik, hogy valamilyen szabályszerűséget fedeznek föl, ellenőrizni akarnak elfogadott ismereteket. Ezeknek és más motívumoknak is szerepük van annak eldöntésében, hogy milyen sajátos problémákkal foglalkozik majd később a tudós. Ha egyszer-egyszer kudarcok érik is, az ilyenfajta motí-

vumok elegendőek, hogy a tudományos munkához vonzzák és vonzáskörében tartsák a kutatót.¹ A tudomány mint egész időnként hasznosnak bizonyul, új területet tár föl, szabályszerűséget mutat ki, és ellenőriz régóta elfogadott vélekedéseket. A normál kutatási problémákkal foglalkozó *egyén azonban szinte sohasem tesz semmi ilyesmit*. Ha már egyszer elkötelezte magát, egészen más motívumok mozgatják. Immár az a meggyőződés hajtja, hogy ha elég ügyes, sikerül megoldania egy rejtvényt, amelyet még senki sem oldott meg, vagy senki sem oldott meg olyan jól, mint ő. A legnagyobb tudósok közül is sokan szentelték minden figyelmüket ilyen fárasztó rejtvényeknek. Szinte egyetlen szakterület sem kínál más tevékenységi lehetőséget művelőinek, ez azonban aligha csökkenti a szenvedélyes rejtvényfejtőre gyakorolt vonzerejét.

Térjünk most át a rejtvények és a normál tudományos problémák közötti párhuzam egy másik, nehezebb és tartalmasabb vonatkozására. Ahhoz, hogy egy problémát rejtvénynek tekinthessünk, nem elegendő, ha biztosak vagyunk valamilyen megoldás létezésében. Kell lenniük olyan szabályoknak is, amelyek körülhatárolják az elfogadható megoldások jellegét és a hozzájuk vezető lépéseket. Így például a kirakós játék esetében a feladat nem csupán az, hogy „csináljunk egy képet”. Bármelyik gyermek vagy kortárs művész képes erre, semleges alapon, szétszórta elhelyezve a kiválasztott darabokat mint absztrakt formákat. Az így létrehozott kép esetleg sokkal jobb és biztosan eredetibb lesz, mint az volt, amelyikből a rejtvény készült. Egy ilyen kép mégsem megoldás. Ennek eléréséhez minden darabot föl kell használni, és erőltetés nélkül, hézagmentesen kell egymáshoz illeszteni őket. Többek között ezek a kirakós játék megoldási szabályai. Könnyen felismerhető, hogy hasonló megszorítások vonatkoznak a keresztrejtvények, a találós kérdések, a sakkfeladványok stb. elfogadható megoldására is.

Ha a „szabály” kifejezést eléggé tág értelemben használjuk – ez esetenként egybeesik a „bevett szempont” vagy a „prekonceptió” fogalmával –, akkor az adott kutatási tradíción belül fellelhető problémák elég jól leírhatók a rejtvény itt említett jellemzőivel. Ha valaki készüléket épít fényhullámhosszak meghatározására, nem elégedhet meg olyan berendezéssel, amely csupán számokat rendel a spektrumvonalakhoz. A tudós nem egyszerű kutató vagy mérőeszköz. Ellenkezőleg, berendezését

az elfogadott optikai elméletnek megfelelően elemezve ki kell mutatnia, hogy a készülék által szolgáltatott számadatok az elméletben mint hullámhosszértékek szerepelnek. Ha az elmélet valamely mozzanatának pontatlansága vagy berendezésének valamely meg nem vizsgált tulajdonsága megakadályozza a bizonyítás elvégzését, kollégái joggal állíthatják, hogy egyáltalán semmit sem mért. Az elektronszórás maximumokról például később kiderült, hogy az elektron hullámhosszát mutatják, mely az első megfigyelések és feljegyzések idején nem látszott lényegesnek. Mielőtt bárminek a fokmérőjévé váltak volna, összefüggésbe kellett hozni őket egy olyan elmélettel, amely előre jelezte, hogy a mozgó anyag hullámszerűen viselkedik. Sőt, miután megállapították ezt az összefüggést, még át kellett alakítani a berendezéseket, hogy a kísérleti eredmények és az elmélet között egyértelmű korrelációt lehessen kimutatni.² Míg nem teljesítették ezeket a feltételeket, egyáltalán nem oldották meg a problémát.

Hasonló megszorítások korlátozzák az elméleti problémák elfogadható megoldásait. Azok a tudósok, akik a XVIII. században Newton mozgás- és gravitációs törvényeiből próbálták levezetni a Hold észlelt mozgását, rendre kudarcot vallottak. Végül néhányan azt javasolták, hogy a fordított négyzetes összefüggést helyettesítsék egy tőle eltérő, kis távolságokra vonatkozó másik törvénnyel. Ehhez azonban meg kellett volna változtatni a paradigmát, új rejtvényt kellett volna fölállítani a régi megoldása helyett. Így azután a tudósok megmaradtak a régi szabályoknál, mígnem 1750-ben egyikük végre rájött, hogyan alkalmazhatók eredményesen.³ A másik lehetőség csak a játékszabályok megváltoztatása lett volna.

A normál tudomány tradícióinak vizsgálata során számos más szabályt is találhatunk. Ezek bőségesen tájékoztatnak arról, hogy milyen kötelezettségeket vállalnak a tudósok paradigmájuk elfogadásával. Milyen fő kategóriákba sorolhatjuk ezeket a szabályokat?⁴ A legszembeűnőbb és valószínűleg a legszigorúbban érvényesülő szabályokra jó példák az imént említett általánosítások. Ezek tudományos törvények explicit megfogalmazásai, illetve tudományos fogalmakra és elméletekre vonatkozó állítások. Mindaddig, amíg tiszteletben tartják őket, segítséget nyújtanak rejtvények felállításához és az elfogadható megoldások körének a meghatározásához. A XVIII. és a XIX. század-

ban például ilyen szerepet játszottak Newton törvényei. Amíg ellátták ezt a feladatot, az anyagmennyiség volt a természettudósok alapvető ontológiai kategóriája, és az anyagrészcskék között fellépő erők alkották a kutatás egyik fő tárgyát.⁵ A kémiában sokáig hasonló tekintélye volt az állandó és meghatározott súlyviszonyok törvényének: fölvetette az atomsúlyok problémáját, kialakította a kémiai elemzések elfogadhatóságának kritériumait, és felvilágosította a vegyészeket arról, mik az atomok és a molekulák, a vegyületek és a keverékek.⁶ Manapság ugyanilyen befolyásuk és szerepük van a Maxwell-egyenleteknek meg a statisztikus termodinamika törvényeinek.

Mindazonáltal nem ezek alkotják a tudománytörténet által föltárt szabályok egyetlen csoportját, és nem is ezek a legérdekesebbek. Például a törvényeknél és az elméleteknél alacsonyabb vagy konkrétabb szinten döntenek el, hogy milyen műszerfajták használatát részesítik előnyben, illetve a bevett eszközök milyen alkalmazási módjait ismerik el jogosnak. A kémia XVII. századi fejlődésében döntő szerepet játszottak a tűznek a vegyelemzésben betöltött szerepével kapcsolatos nézetek változásai.⁷ A XIX. században Helmholtz erős ellenkezésre talált a fiziológusok körében, amikor azt állította, hogy a kísérleti fizika helyesebb megvilágításba helyezheti az ő kutatási területüket is.⁸ Századunkban pedig a kémiai kromatográfia különös története újabb példa arra, hogy a tartós elkötelezettség bizonyos eszközök mellett ugyanúgy befolyásolja a tudósok követendő játékszabályait, mint a törvények és az elmélet.⁹ Ha majd közelebbről megvizsgáljuk a röntgensugarak fölfedezését, meg fogjuk találni az ilyenfajta elkötelezettség okait is.

A természettudomány kevésbé egy-egy tudományágra korlátozott és kevésbé átmeneti jellegű, de azért nem változatlan sajátosságai azok a magasabb szintű, szinte metafizikai elkötelezettségek, melyekkel a tudománytörténet lépten-nyomon találkozik. Egy példa: körülbelül 1630, különösen pedig Descartes rendkívüli hatású természettudományi írásainak megjelenése után a fizikusok többsége feltételezte, hogy az univerzum mikroszkopikus részecskékből áll, és minden természeti jelenség megmagyarázható a részecskék alakjának, méretének, mozgásának és kölcsönhatásának leírásával. Az elkötelezettségeknek ez az együttese egyszerre volt metafizikai és módszertani. Metafizikai volt, amennyiben tájékoztatta a tudósokat, hogy mi-

ilyen entitásokat tartalmaz az univerzum, és milyeneket nem: csak alakkal rendelkező, mozgó anyag létezik. Módszertani volt, amennyiben tájékoztatta a tudósokat, hogy milyeneknek kell lenniük a végső törvényeknek és az alapvető magyarázatoknak: a törvényeknek a részecskék mozgását és kölcsönhatását kell leírniuk, a magyarázatoknak pedig bármely adott természeti jelenséget e törvényeknek engedelmeskedő korpuszkuláris mozgásokra kellett visszavezetniük. Ami még fontosabb, a világmindenség korpuszkuláris felfogása előírta a tudósoknak, hogy milyen és mennyi kutatási problémájuk legyen. Például az a vegyész, aki – mint Boyle – magáévá tette az új filozófiát, különös figyelmet fordított azokra a reakciókra, amelyeket átalakulásnak lehetett tekinteni. Ezek minden más reakciónál világosabban leplezik le a részecskék átrendeződésének folyamatát, amely pedig szükségképpen minden kémiai változás alapját alkotja.¹⁰ A korpuszkuláris fölfogás hasonló hatása figyelhető meg a mechanikában, az optikában és a hőtanban is.

Végül, egy még magasabb szinten helyezkedik el az elkötelezettségek másik csoportja, melynek vállalása nélkül senki sem lehet tudós. Így például a tudósok arra kell törekednie, hogy megértse a világot, és a jelenségek szélesebb körére pontosabb szabályokat állapítson meg. Ez a kötelezettségvállalás viszont arra sarkallja, hogy egyedül vagy kollégáival együttműködve, a természet valamely területét empirikus részletességgel, alaposan megvizsgálja. S ha e vizsgálat során szembeötlő rendezetlenséget talál, akkor ennek arra kell ösztönöznie őt, hogy újra tökéletesítse megfigyelési módszereit, vagy még pontosabban kifejtse elméleteit. Nyilván vannak más hasonló, a tudósokra mindig kötelező szabályok is.

A fogalmi, elméleti, instrumentális és módszertani elkötelezettségeknek ez a szoros szövedéke a fő forrása a normál tudományt a rejtvényfejtéssel rokonító metaforának. Mivel az elkötelezettségeknek ebből a rendszeréből olyan szabályok erednek, amelyek megmondják egy-egy érett szaktudomány művelőjének azt is, hogy milyen a világ, azt is, hogy milyen az általa művelt tudomány, a kutató teljes bizalommal összpontosíthatja figyelmét az e szabályok és a meglevő tudás által körülhatárolt ezoterikus kérdésekre. Egyénileg pedig az sarkallja, hogy meg akarja találni a fennmaradó rejtvény megoldását. A normál tudományos gyakorlat lényegét e tekintetben és más szempont-

ból is tisztázza a rejtvények és a szabályok tárgyalása. Egyébként azonban ez a tisztázás rendkívül félrevezető is lehet. Bár nyilvánvalóan vannak olyan szabályok, amelyekhez a szaktudomány minden művelője ragaszkodik egy bizonyos időszakban, meglehet, hogy e szabályok önmagukban nem határozzák meg pontosan mindazt, ami az illető szaktudósok gyakorlati munkájában közös. A normál tudományos kutatás szigorúan meghatározott tevékenység, de nem szükségképpen csak szabályok határozzák meg. A normál tudományos hagyományok koherenciájának forrását keresve, ezért vezettem be mindjárt e tanulmány elején a közös paradigma fogalmát a közös szabályok, feltevések és szempontok helyett. Feltevésem szerint a szabályok a paradigmákból erednek, de a paradigmák akár szabályok nélkül is vezérelhetik a kutatást.

V. A PARADIGMÁK ELSŐBBSÉGE

A szabályok, a paradigmák és a normál tudomány közötti viszony föltárása érdekében először azt mérlegeljük, hogy miként különítik el a tudománytörténészek az imént elfogadott szabályoknak minősített sajátos elkötelezettségegyütteseket. Ha alapos történeti vizsgálatnak vetünk alá valamely szaktudományt fejlődésének valamely szakaszában, azt látjuk, hogy a különböző elméletek fogalmi, megfigyelési és instrumentális alkalmazásai során bizonyos ismétlődő és szinte szabványos formákban jelentkeznek. Ezek a tudományos közösség kézikönyvekben, előadásokban és laboratóriumi feladatokban is szereplő paradigmái. A megfelelő közösség tagjai ezeket tanulmányozva és gyakorlati munkájukban alkalmazva sajátítják el szakmájukat. A történész ezenkívül természetesen föltárja a még bizonytalan helyzetű eredmények homályos területét is, hiszen a megoldott problémák és a kialakult módszerek lényege általában már ezek esetében is világos. Egy érett tudományos közösség paradigmái – az alkalmi bizonytalanságok dacára – viszonylag könnyen meghatározhatók.

A közös paradigmák meghatározása azonban nem jelenti a közös szabályok meghatározását. Ehhez még egy lépést kell tennünk, és ez kissé eltér az előzőtől. Ha vállalja a feladatot, a történésznek össze kell hasonlítania a közösség paradigmáit egymással és a folyamatosan közzétett kutatási beszámolókkal. Eközben az a célja, hogy rájöjjön, milyen elkülöníthető implicit vagy explicit elemeket tudtak a tudományos közösség tagjai *elvonatkoztatni* átfogó paradigmájukból, és melyeket tették kutatásaik szabályaivá. Bárki, aki már megpróbálta leírni vagy elemezni egy szaktudományág hagyományának kialakulását, szükségképpen ezután is ilyenfajta elfogadott elveket és szabályokat keres. Mint az előző fejezetben kiderült, majdnem bizonyos, hogy legalább részsikerre számíthat. Ha azonban tapasztalatai valamelyest hasonlóak az enyémekekhez, úgy találja, hogy

a szabályok utáni nyomozás nehezebb és kevésbé eredményes, mint a paradigmák keresése. A közösség által elfogadott vélekedések leírása során részben olyan általánosításokhoz folyamodik, amelyek nem okoznak gondot. Más általánosítások viszont – köztük néhány olyan is, amelyet példaként már említettünk – kissé elszórtak tűnnek majd. Akár éppen így, akár bármilyen más módon fogalmazza is meg általánosításait a történész, szinte biztos lehet benne, hogy akadnak a vizsgált közösségnek olyan tagjai, akik elutasítják azokat. Ha a kutatási hagyomány koherenciája mégis kifejezhető szabályokban, akkor szükség van a megfelelő terület közös alapjának némi részletezésére. Ennek következtében egy adott normál kutatásnak megfelelő szabályrendszer keresése állandó és súlyos frusztráció forrásává válik.

E frusztráció felismerése viszont lehetővé teszi forrásának megállapítását is. A tudósok esetleg egyetértenek abban, hogy egy Newton, Lavoisier, Maxwell vagy Einstein látszólag végleges megoldást talált egy-egy fontos kérdéscsoportra, mégis nézeteltérés lehet köztük – bár néha nincsenek tudatában – arra vonatkozóan, hogy milyen sajátos elvont jellegzetességek teszik véglegessé e megoldásokat. Megtörténhet tehát, hogy egyetértenek egy paradigma *azonosításában*, de nem értenek egyet – vagy nem is próbálnak megegyezni – teljes *interpretálását* vagy *racionalizálását* illetően. Az irányadó értelmezésnek vagy a szabályokra való, közösen elfogadott leegyszerűsítésnek a hiánya nem akadályozza annak, hogy a paradigma irányítsa a kutatást. A normál tudomány részben meghatározható a paradigmák közvetlen ellenőrzése révén; ezt a munkát elősegítheti a szabályok és feltevések megfogalmazása, de nem erre épül. Sőt egy paradigma létezéséből még az sem következik feltétlenül, hogy létezik teljes szabályrendszer is.¹

Fenti állításaink először is mindenképpen újabb kérdéseket vetnek fel. Megfelelő szabályrendszer hiányában mi köti a tudóst egy bizonyos normál tudományos tradícióhoz? Mit jelent „a paradigmák közvetlen ellenőrzése”? Ezeket a kérdéseket részben megválaszolta Ludwig Wittgenstein, bár egészen más kontextusban. Mivel ez az összefüggés elemibb és ismertebb, megkönnyíti dolgunkat, ha most először az ő érvelésének formáját vesszük szemügyre. Mit kell tudnunk – kérdezte Wittgenstein – ahhoz, hogy egyértelműen és minden vitát kizáró

módon alkalmazhassunk ilyen kifejezéseket: „szék”, „levél”, „játék” stb.² Igen régi kérdés ez. Általában azt szokás válaszolni rá, hogy tudatosan vagy ösztönösen fel kell ismernünk, hogy *mi* a szék, *mi* a levél, *mi* a játék. Azaz meg kell tudnunk ragadni a tulajdonságoknak valamilyen együttesét, amely minden játékban és csak a játékokban közös. Wittgenstein azonban arra a következtetésre jutott, hogy ha adott a nyelvhasználat módja és annak a világnak a minősége, amelyre alkalmazzuk, nincs szükség a sajátosságok ilyen együttesére. Habár a bizonyos mennyiségű játékban vagy székben vagy levélben közös tulajdonságok részének számbavétele gyakran megkönnyíti a megfelelő kifejezés alkalmazásának elsajátítását, nem létezik a sajátosságoknak olyan együttese, amely együttesen az osztály összes tagjaira és csak ezekre volna alkalmazható. Egy korábban nem észlelt tevékenységgel találkozva azért használjuk a „játék” szót, mert az, amit tapasztalunk, közeli „rokonságban” van sok olyan tevékenységgel, melyet már megtanultunk e néven nevezni. Röviden tehát Wittgenstein szerint a játékok, a székek, a levelek természetesen családokat alkotnak, amelyek mindegyikét egymást részben átfedő és szabálytalanul keresztező hasonlóságok szövedéke tartja össze. Egy ilyen hálózat létezése elégséges magyarázat arra, hogy miként sikerül azonosítani a megfelelő tárgyat vagy tevékenységet. Csak ha az általunk néven nevezett családok részben fednék egymást, és fokozatosan átmennének egymásba – azaz, ha nem léteznének természetes családok –, a tárgyak sikeres azonosítása és megnevezése csak akkor bizonyítaná azt, hogy az általunk alkalmazott osztályokat jelölő nevek mindegyikének megfelel a közös jellegzetességek valamilyen halmaza.

Hasonló összefüggés érvényes az egyetlen normál tudományos hagyományon belül felmerülő különböző kutatási problémákra és eljárásokra is. Ezekben nem az a közös, hogy kielégítik a szabályok és feltevések valamilyen olyan explicit vagy akár teljesen földeríthető halmazát, amely a tradíció sajátosságát és a tudományos gondolkodás fölötti hatalmát adja. A kutatási problémák és eljárások inkább összehasonlítás vagy modellezés révén hozhatók összefüggésbe annak a tudományos ismeretanyagunk egyik-másik részével, amelyet a kérdéses tudományos közösség már megalapozott eredményei közé tartozónak ismer el. A tudósok a tanulmányaikból és a szakirodalom ké-

sőbbi megismeréséből adódott modellek alapján dolgoznak, gyakran anélkül, hogy pontosan tudnák vagy tudniuk kellene, mely tulajdonságaik tették e modelleket a közösség paradigmájává. Éppen ezért nincs is szükségük a szabályok teljes halmazára. A tudós által is követett kutatási hagyomány koherenciája esetleg nem árulja el, hogy létezik a szabályoknak és feltevéseknek egy alapvető rendszere; ezt külön történeti vagy filozófiai kutatás tárhatja föl. A tudósok általában nem keresik, nem is vitatják, hogy mi tesz jogossá egy sajátos problémát vagy a megoldását, s ez azt sugallja, hogy – legalább intuitív módon – tudják a választ. Közömbösségük a fenti kérdés iránt azonban talán csak azt tanúsítja, hogy sem a kérdést, sem a választ nem érzik kutatásukhoz tartozónak. A paradigmák megelőzhetik a belőlük egyértelműen levezethető kutatási szabályok bármely halmazát, sőt néha erősebben kötik a tudósokat, és teljesebb rendszert is alkotnak, mint a szabályok.

Eddig tisztán elméleti a kérdés: a paradigmák látható szabályok közvetítése nélkül is meghatározhatják a normál tudományt. Most próbáljuk meg világosabban és élesebben megfogalmazni ugyanezt: megemlítnék néhány okot, amiért úgy gondoljuk, hogy a paradigmák tényleg ily módon működnek. Az elsőt már részletesen tárgyaltuk: igen nehéz az egyes normál tudományos hagyományokat irányító szabályokat felderíteni. Ez a nehézség csaknem ugyanolyan, mint az, amellyel a filozófus találkozhat, amikor igyekszik megmondani, hogy mi a közös minden játékban. Ez valójában közvetlen következménye a másodiknak, amely a tudományos képzés jellegében gyökerezik. A tudósok – amint már az eddigiekből kiderült – sohasem elvont, különálló fogalmakat, törvényeket és elméleteket tanulnak meg. Ezekkel az intellektuális eszközökkel már kezdettől fogva egy előzőleg kialakult történeti és pedagógiai egységként találkoznak, alkalmazásaikkal együtt és azon keresztül ismerkednek meg velük. Egy új elméletet mindig a természeti jelenségek valamely konkrét területére való alkalmazásaival együtt hoznak nyilvánosságra; ha ezt elmulasztanák, az új elméletnek még esélye sem volna az elfogadtatásra. Miután pedig elfogadták, az új elmélet ugyanezekkel az alkalmazásokkal vagy másokkal együtt kerül be azokba a kézikönyvekbe, amelyekből a jövőbeni tudósok majd elsajátítják szakmájukat. Az alkalmazások nem csupán az előadást színező elemként, sőt mi több, nem is csak

bizonyító anyagként szerepelnek a kézikönyvekben. Ellenkezőleg: egy elmélet elsajátításának folyamata az alkalmazások tanulmányozására támaszkodik, beleértve a problémák megoldásának gyakorlását, s ezen belül azt is, amit ceruzával papíron végeznek, és azt is, amit laboratóriumban, műszerekkel. Ha például valaki a newtoni dinamikát tanulmányozva egyszer csak rájön, hogy mit jelentenek az olyan kifejezések, mint „erő”, „tömeg”, „tér” és „idő”, ezt nem annyira a tankönyvében szereplő – néha hasznos, de tökéletlen – definícióknak köszönheti, hanem sokkal inkább annak, hogy problémák megoldása során részt vevő megfigyelőként működött közre e fogalmak alkalmazásában.

A tanulás így zajlik – egyszerű gyakorlásként vagy már valószínűségi problémamegoldó tevékenységként – a szakmai képzés ideje alatt. Ahogy a diák eljut az első évfolyamtól doktori disszertációjáig, majd továbbhalad, a rábízott feladatok egyre bonyolultabbá válnak, s egyre kisebb hányaduk támaszkodik előző esetekre, de továbbra is szorosan igazodnak a már meglévő eredményekhez; ez áll azoknak a problémáknak a többségére is, amelyek későbbi önálló tudományos pályafutása során foglalkoztatják. Feltehetjük ugyan, hogy a tudós fejlődésének egy bizonyos pontján intuitív módon, önállóan alakít ki játékszabályokat, de kevés okunk van ezt hinni. Bár sok tudós könnyedén és pontosan előadja a folyamatban levő kutatás valamelyik részfeladatát megalapozó, saját egyéni hipotéziseit, de ha tudományterületük elfogadott alapjait, érvényes problémáit és módszereit jellemzik, alig különbek a laikusoknál. Ha egyáltalán elsajátítottak ilyesféle absztrakciókat, ezt főleg sikeres kutatómunkájukkal bizonyítják. Ez a képesség azonban anélkül is megérthető, hogy hipotetikus játékszabályokhoz folyamodnánk.

A tudósképzésnek van egy ellentétes következménye is, s ez a harmadik oka annak, hogy úgy véljük: a paradigmák közvetlen modellezés segítségével is irányítják a kutatást, nemcsak elvont szabályok közbeiktatásával. A normál tudomány szabályok nélkül csak addig lehet meg, amíg a megfelelő tudományos közösség ellenvetés nélkül elfogadja a már meglévő problémamegoldásokat. Következésképpen a szabályok mindig fontossá válnak, és az irántuk tanúsított jellegzetes közöny is eltűnik, valahányszor megbízhatatlannak érzik a paradigmákat vagy a

modelleket. Egyébként éppen ez szokott történni. Különösen a paradigma előtti időszakot jellemzik gyakori, súlyos viták a jogos módszerekről, problémákról és megoldási normákról, bár ezek a viták inkább szolgálják az irányzatok határozott elkülönülését, mint az egyetértés kialakulását. Már utaltunk néhány ilyen vitára, amely az optikában és az elektromosságban zajlott le. Efféle viták még nagyobb szerepet játszottak a kémia XVII. századi és a geológia XIX. század eleji fejlődésében.³ Továbbá az ilyenfajta viták nem szűnnek meg egyszer s mindenkorra egy paradigma megjelenésével. Bár a normál tudomány korszakaiban szinte egyáltalán nem fordulnak elő, mindig megjelennek a tudományos forradalmak előtt és alatt, azokban az időszakokban, amikor előbb támadás éri a paradigmákat, majd változások mennek végbe bennük. A newtoni mechanikáról a kvantummechanikára való átmenet sok vitát váltott ki a fizika lényegéről és normáiról, s e viták némelyike még ma is folyik.⁴ Vannak még élő tanúi annak, hogy hasonló vitákat idézett elő Maxwell elektromágneses elmélete és a statisztikus mechanika.⁵ Még régebben pedig Galilei és Newton mechanikájának elterjedése különösen nevezetes viták sorozatát indította el az új fölfogás követői és az arisztotelianusok, a karteziánusok meg a leibnizi felfogás hívei között a tudományos kutatás normáiról.⁶ Amikor a tudósok nem értenek egyet abban, hogy tudományterületük alapproblémái megoldottak-e vagy sem, a szabályok keresésének a szokásosnál nagyobb a szerepe. Mindaddig azonban, amíg a paradigmák szilárdak maradnak, működhetnek anélkül is, hogy a tudósok megegyeznének racionalizálásuk tekintetében, vagy akár csak kísérletet tennének racionalizálásukra.

E fejezet befejezéseként kifejtjük a negyedik érvet amellet, hogy elfogadjuk a paradigmák elsőbbségét a közös szabályokkal és feltevésekkel szemben. A tanulmány bevezetőjében jeleztük, hogy a nagy forradalmak mellett lehetnek kicsik is, hogy egyes forradalmak csak azokat érintik, akik valamely szaktudomány egyetlen ágával foglalkoznak, és hogy az ilyen csoportok számára egy új, váratlan jelenség fölfedezése is forradalmat jelenthet. A következő fejezetben bemutatunk néhány ilyen forradalmat, mivel még korántsem világos, hogyan fordulhatnak elő. Ha a normál tudomány tényleg olyan merev, és ha a tudományos közösségek tényleg olyan szigorúan zártak, mint az

eddigiekből sejthető, hogyan lehetséges, hogy a paradigmában bekövetkező változás a közösségnek mégis csak kis csoportját érinti? Az eddig elmondottakból mintha az következne, hogy a normál tudomány egyetlen monolitikus, egységes vállalkozás, amely együtt áll vagy bukik bármelyik paradigmájával vagy a paradigmák összességével. A tudomány azonban ritkán vagy sohasem ilyen. Összes területeit együtt tekintve, gyakran inkább úgy tűnik, hogy a tudomány meglehetősen rozoga építmény, s különböző részei közt kicsi a koherencia. Mindamellett az eddig elmondottakból semmi sem szól jól ismert tapasztalataink ellen. Ellenkezőleg, a szabályokat paradigmákkal helyettesítve, könnyebben lesz érthető a tudományterületek és szaktudományok sokfélesége. Ha vannak explicit szabályok, azokat rendszerint a kutatók igen széles csoportja fogadja el, a paradigmák esetében viszont nem szükségképpen ez a helyzet. Nagyon távol eső területek, mondjuk a csillagászat és a növényrendszer-tan művelői igen különböző könyvekből egészen különböző tudományos eredményeket ismernek meg, így sajátítják el szakmájukat. Sőt az is előfordul, hogy azonos vagy egymáshoz szorosan kapcsolódó területeken dolgozó kutatók meglehetősen különböző paradigmákat sajátítanak el szakosodásuk során, annak ellenére, hogy nagyrészt ugyanazokat a könyveket és eredményeket tanulmányozva kezdték pályájukat.

Egyetlen példaként vegyük szemügyre a fizikusok rendkívül kiterjedt és szerteágazó közösségét! Manapság e csoport minden egyes tagja megtanulja például a kvantummechanika törvényeit, és legtöbbjük alkalmazza is kutató- vagy oktatómunkája valamelyik pontján. A fizikusok közül azonban nem mindenki ugyanazokat az alkalmazásait tanulja meg ezeknek a törvényeknek, ezért a kvantummechanika gyakorlati változásai nem egyformán hatnak mindegyikükre. Néhány fizikus a szakosodás közben a kvantummechanikának csak az alapelveivel találkozik. Mások részletesen tanulmányozzák az alapelvek paradigmatisztikus alkalmazásait a kémiában, megint mások a szilárd testek fizikájában stb. Hogy mit jelent egy-egy fizikus számára a kvantummechanika, attól függ, hogy milyen előadásokat hallgatott, milyen könyveket olvasott, és milyen folyóiratokat tanulmányoz. Következésképpen egy kvantummechanikai törvény megváltozása forradalmi jelentőségű ugyan minden ilyen csoport szempontjából, de a kvantummechanikának

egyik vagy másik paradigmatis alkalmzását módosító változás csak valamely szaktudomány egyik ágának művelőire van szükségképpen forradalmi hatással. A többi szakmabeli és a más természettudományokkal foglalkozók számára ez egyáltalán nem feltétlenül forradalmi változás. Röviden: a kvantummechanika (vagy a newtoni dinamika, vagy az elektromágneses elmélet) paradigma sok tudományos közösség számára, de nem ugyanaz a paradigma mindegyikük számára. Így tehát több normál tudományos tradíció meghatározója lehet egyszerre, amelyek részben fedik egymást, de tárgyak nem azonos terjedelmű. Az e hagyományok egyikében végbement forradalom nem terjed ki szükségképpen a többire is.

Egyetlen példát ismertünk röviden a szakosodás hatására; ez meggyőzőbbé teheti összes fenti állításunkat. Egy kutató, aki arról szeretett volna megtudni valamit, hogy miként értelmezik a tudósok az atomelméletet, megkérdezett egy kiváló fizikust és egy neves kémikust, hogy a héliumatom molekula-e vagy sem. Mindketten habozás nélkül válaszoltak, csak hogy válaszaik nem voltak azonosak. A vegyész szerint a héliumatom molekula, mert a kinetikus gázelméletnek megfelelően molekulaként viselkedik. A fizikus szerint viszont a héliumatom nem molekula, mert nem ad molekulaszínképet. Feltételezhetően ugyanarról a részecskéről beszéltek, de mindketten saját kutatói képzettségükhöz és gyakorlatukhoz illően látták azt. Problémák megoldása során szerzett tapasztalataik határozták meg, hogy mit tekintsenek molekulának. Tapasztalataik kétségtelesen jól jórészt hasonlóak voltak, ebben az esetben mégsem ugyanazt mondták a két szakembernek. A továbbiakban kiderítjük, hogy alkalomadtán milyen következményekkel járhatnak a paradigmák közti, ilyenfajta különbségek.

VI. AZ ANOMÁLIÁK ÉS A TUDOMÁNYOS FELFEDEZÉSEK LÉTREJÖTTE

A normál tudomány – az imént vizsgált rejtvényfejtő tevékenység – roppant anyagot halmoz föl, rendkívül sikeresen tölti be rendeltetését, folyamatosan bővíti a tudományos ismeretek körét, és állandóan növeli pontosságukat. Ebből a szempontból a normál tudomány tökéletesen megfelel a tudományos munka közkeletű elképzelésének. A tudományos tevékenység egyik alapvető terméke azonban hiányzik a normál tudományból: sem ténybeli, sem elméleti újdonságokra nem törekszik, s ha sikeres, nem is talál ilyeneket. A tudományos kutatás ellenben gyakran tár fel új, korábban nem is gyanított jelenségeket, s a tudósok sokszor találnak ki gyökeresen új elméleteket. Sőt a történelem tanúsága szerint a tudomány páratlanul hatékony módszert fejlesztett ki ilyenfajta meglepetések előidézésére. Ha a tudománynak ez a sajátossága összeegyeztethető az eddig elmondottakkal, akkor a paradigma által vezérelt kutatás különösen célravezető módja a paradigmák megváltoztatásának. Ilyen szerepet játszanak az alapvető ténybeli és elméleti újítások. Ha az új találmányok mintegy figyelmetlenségéből születnek egy bizonyos szabályrendszer szerint játszott mérkőzésen, akkor feldolgozásukhoz új szabályrendszert kell kialakítani. Miután az új eredmények beépültek a tudományba, a kutatás – legalábbis azoké, akiknek szakterületét érintették az újítások – már nem teljesen ugyanaz, mint előtte volt.

Most azt kell kiderítenünk, hogyan következhetnek be ilyen változások. Előbb a felfedezéseket, ténybeli újításokat, majd a találmányokat, az elméleti újításokat vesszük szemügyre. A felfedezésnek és a feltalálásnak, illetve a ténynek és az elméletnek ez a megkülönböztetése azonban mindjárt mesterkéltnek bizonyul, s ez a mesterkélttség fontos vezérfonal munkánk több fő tételéhez. Megvizsgálva néhány felfedezést e fejezet hátralevő részében, hamarosan megállapítjuk, hogy ezek nem elszigetelt esetek, hanem hosszú ideig tartó, szabályosan ismétlődő

szerkezeti sajátosságokat mutató események. A felfedezés valamilyen anomália tudatosulásával, azaz annak fölismerésével kezdődik, hogy a természet valahogy nem felel meg a paradigma keltette várakozásoknak, amelyek a normál tudományt vezérlik. Ezután a felfedezés úgy folytatódik, hogy több-kevesebb alapossággal feltárják az anomália körzetét, és csak akkor fejeződik be, amikor a paradigmaticus elméletet már sikerült oly módon kiigazítani, hogy az anomália is megfeleljen a várakozásoknak. Egy új tény feldolgozásához az elméletnek az új részlet egyszerű hozzáadását meghaladó módosítása szükséges, és amíg ez nem történik meg – amíg a tudós nem tanulja meg másképp értelmezni a természetet –, addig az új tény még egyáltalán nem igazi tudományos tény.

Hogy megértsük, milyen szorosan összefonódik a ténybeli és elméleti újszerűség a tudományos fölfedezésben, megvizsgálunk egy különösen nevezetes esetet, az oxigén fölfedezését. Legalább hárman tarthatnak jogosan igényt e felfedezés dicsőségére, és föltehető, hogy az 1770-es évek elején több más kémikus is tárolt dúsított levegőt laboratóriumi edényben, ha nem is tudott róla.¹ A normál tudománynak – jelen esetben a gázok kémiájának – a fejlődése alaposan előkészítette az áttörést. Elsőként egy svéd gyógyszerésznek, K. W. Scheelének sikerült viszonylag tiszta formában előállítania a gázt. Az ő eredményét azonban figyelmen kívül hagyhatjuk, mivel csak akkor hozta nyilvánosságra, amikor már többen bejelentették az oxigén fölfedezését, és így nem vett részt az itt bennünket leginkább érdeklő történeti séma kialakításában.² A felfedezés érdemére másodikként egy angol természettudós és teológus, Joseph Priestley tarthat igényt, aki vörös higany-oxidot hevített, és a főlzábadult gázt összegyűjtötte; ez a kísérlet hosszadalmas normál kutatás része volt, amelynek során az igen sokféle szilárd anyag által kibocsátott „levegőket” vizsgálta. 1774-ben az így fejlesztett gázt nitrogén-oxidként, 1775-ben pedig további kísérletek alapján, a szokásosnál kevesebb flogisztont tartalmazó közönséges levegőként azonosította. A harmadik igénylő az oxigén fölfedezőjének címére Lavoisier. Ő Priestley 1774-es kísérletei után és talán Priestley egyik utalásának hatására kezdte el ezzel kapcsolatos munkáját. Lavoisier 1775 elején közzétett beszámolója szerint a vörös higany-oxid hevítésével nyert gáz „maga a teljes, változatlan levegő [eltekinthetve attól, hogy]...

tisztábban, belélegzésre alkalmasabb formában jelenik meg”.³ 1777-re valószínűleg Priestleynek egy másik utalása segítségével Lavoisier arra a meggyőződésre jutott, hogy ez a gáz önálló anyagfajta, a légkör két fő alkotóelemének egyike; ezt a következtetést Priestley sohasem tudta elfogadni.

Ez a felfedezéséséma fölvet egy olyan kérdést, amely mindig feltehető, amikor új jelenséget ismernek meg. Priestley vagy Lavoisier fedezte föl először az oxigént, vagy egyikük sem? Bárki tette is, mikor fedezték föl az oxigént? Az utóbbi kérdés akkor is helyénvaló, ha csak egy igénylő van. Ha a válasz csak az elsőbbséget és az időpontot dönti el, egyáltalán nem is tartozik ránk. Csakhogy a válasz megtalálására irányuló törekvés világosságot derít a felfedezés természetére, ugyanis a keresett válasz nem létezik. A felfedezés nem olyan folyamat, amellyel kapcsolatban helyénvaló volna ez a kérdés. Az a tény, hogy e kérdést egyáltalán megfogalmazzák – az oxigén felfedezésének elsőbbségét az 1780-as évek óta újra meg újra vitatják –, a felfedezésnek ilyen alapvető szerepet tulajdonító tudománykép valamilyen torzulásának a tünete. Nézzük meg még egyszer példánkat! Priestley azon az alapon formált jogot az oxigén felfedezőjének címére, hogy először ő különített el egy később önálló anyagfajtának elismert gázt. A Priestley által nyert anyag azonban nem volt tiszta, s ha valaki azáltal, hogy van neki kevert oxigénje, már fel is fedezte azt, akkor mindenki megtette volna, aki valaha is légköri levegőt edénybe gyűjtött. Azonkívül, ha Priestley volt a fölfedező, mikor történt a fölfedezés? 1774-ben azt gondolta, hogy nitrogén-oxidot nyert, ezt az anyagot pedig már korábban is ismerte; 1775-ben a gázt flogisztontartalmának egy részétől megfosztott levegőnek hitte, s ez még mindig nem oxigén, sőt a flogisztonkémikusok szerint egészen különös fajta gáz. Lavoisier jogcíme talán megalapozottabb, de ugyanazokat a kérdéseket veti fel. Ha nem ítéljük oda a pálmát Priestleynek, Lavoisiernek sem adhatjuk 1775-ös eredményéért, amelynek alapján megállapította, hogy a gáz „maga a teljes levegő”. Valószínűleg helyesebb, ha 1776–1777-re tesszük a fordulatot: akkori eredményei után Lavoisier már nemcsak a gáz létezéséről tudott, hanem azt is tudta, mi az. Még így is vitatható a döntés, ugyanis Lavoisier még 1777-ben is – sőt élete végéig – kitartott amellett, hogy az oxigén atomi „alkotórésze a savaságnak”, oxigéngáz pedig csak akkor jön létre, ha ez az „alkotó-

rész" egyesül a hőanyaggal, a hő anyagával. Azt kell tehát mondanunk, hogy még 1777-ben sem fedezték föl az oxigént? Egyesek hajlamosak lehetnek erre. Csakhogy a savasság alkotórészét csak 1810 után számúzték a kémiaiából, a hőanyag pedig egészen az 1860-as évekig kísértett. Az oxigén azonban már korábban polgárjogot nyert a kémiában.

Nyilvánvaló, hogy új szókinszre, új fogalmakra van szükségünk az oxigén fölfedezéséhez hasonló események elemzéséhez. Bár „az oxigént fölfedezték” mondat kétségtelenül helyes, egyszersmind azonban félrevezető is, mivel azt sugallja, hogy valaminek a fölfedezése egyetlen egyszerű aktus, összehasonlítható a látásra vonatkozó (egyébként szintén vitatható) köznap fogalmunkkal. Ezért fogadjuk el olyan készségesen, hogy a fölfedezés, a látáshoz vagy a tapintáshoz hasonlóan, egyértelműen egy személynek tulajdonítható és egy időponthoz kapcsolható. Az időpont meghatározása azonban mindig lehetetlen, s gyakran a felfedező személyének eldöntése is. Scheelét figyelmen kívül hagyva, nyugodt lélekkel állíthatjuk, hogy 1774 előtt nem fedezték fel az oxigént, és valószínűleg akkor sem tévedünk, ha azt mondjuk, hogy 1777-re vagy nem sokkal később fölfedezték. Az említett vagy más hasonló időhatárokon belül azonban a fölfedezés pontosabb keltezésére irányuló minden próbálkozás elkerülhetetlenül önkényes, mert egy újfajta jelenség fölfedezése szükségképpen összetett esemény: magában foglalja valami létezésének és mibenlétének a felismerését is. Gondoljunk például arra, hogy ha szerintünk az oxigén flogisztontartalmának egy részétől megfosztott levegő volna, akkor habozás nélkül azt állítanánk, hogy Priestley fedezte föl, bár még így sem tudnánk, hogy pontosan mikor. Ha azonban a felfedezésben a megfigyelés és a fogalomalkotás, a tény és annak beépítése az elméletbe elválaszthatatlanul összekapcsolódik, akkor a felfedezés folyamat, és eltart egy ideig. Csak ha a megfelelő fogalmi kategóriák már előre adóttak – ebben az esetben persze nem beszélhetnénk újfajta jelenségről –, csak akkor történhet meg valami *létezésének és mibenlétének* a felfedezése erőfeszítés nélkül, egyszerre, egy pillanat alatt.

Ismerjük el tehát, hogy a fölfedezés a fogalmi feldolgozás időt, ha nem is szükségképpen hosszú időt igénylő folyamat. Mondhatjuk-e azt is, hogy a fölfedezéssel együtt jár a paradigma megváltozása? Erre a kérdésre egyelőre nem adhatunk általános

érvényű választ, de az itt tárgyalt esetben mindenképpen igen kell válaszolnunk. Lavoisier 1777 után közölt dolgozatai nem is annyira az oxigén fölfedezéséről szóltak, mint inkább az égés oxigénelméletéről. Ez az elmélet a kémia olyan széles körű újrafogalmazásának a talpköve volt, hogy általában kémiai forradalomnak nevezik. Valóban, ha az oxigén fölfedezése nem játszott volna közvetlen szerepet a kémia új paradigmájának létrejöttében, az elsőbbség kérdése, amelyből kiindultunk, sohasem látszott volna ilyen fontosnak. Itt, mint más esetekben is, attól függően változik egy új jelenségnek és így felfedezőjének az értékelése is, hogy a jelenség véleményünk szerint mennyire sérti a paradigmából következő előrejelzéseket. Meg kell azonban jegyeznünk, mivel ez később fontos lesz, hogy nem az oxigén fölfedezése volt az egyedüli oka a kémiai elmélet megváltozásának. Lavoisier jóval azelőtt, hogy bármiféle szerepet játszott volna az új gáz fölfedezésében, meg volt győződve arról, hogy valami baj van a flogisztonelemmel, és hogy az égő testek elnyelik a levegő egyik alkotórészét. Ezt nagyjából meg is fogalmazta egy lezárt levélkében, amelyet a Francia Akadémia titkáranál 1772-ben helyezett letétbe.⁵ Az oxigénnel kapcsolatban végzett munkának az volt az értelme, hogy pótlólag formai és szerkezeti keretet adott Lavoisier korábbi sejtésének, hogy valami baj van. Azt tudta meg, aminek a fölfedezésére már felkészült: megismerte annak az anyagnak a természetét, amelyet az égés elvon a levegőből. A bajok előzetes ismerete lényegesen hozzájárult ahhoz, hogy Lavoisier a Priestleyéhez hasonló kísérletek során észrevegye azt a gázt, amelyet maga Priestley képtelen volt meglátni. Megfordítva: minden bizonnyal az a tény volt a fő oka annak, hogy Priestley hosszú élete végéig is képtelen volt észrevenni azt, amit Lavoisier meglátott, hogy ehhez a paradigma jelentős módosítására volt szükség.

Két másik és jóval rövidebb példa nagymértékben alátámasztja az imént mondottakat, s egyszersmind a felfedezések természetének tisztázásától továbbvezethet létrejöttük tudománybeli körülményeinek megértéséhez. Mivel az a célunk, hogy bemutassuk a fölfedezések létrejöttének fő módjait, példáinkat úgy választottuk ki, hogy mind egymástól, mind az oxigén fölfedezésétől különbözzenek. Az első, a röntgensugarak példája klasszikus esete a véletlen révén bekövetkező fölfedezésnek; ez a típus gyakoribb, mint a személytelen, szabványos tudomá-

nyos közlemények alapján képzelnénk. A felfedezés története azon a napon kezdődik, amikor Röntgen, a német fizikus félbeszakította katódsugarakkal végzett normál kísérletsorozatát, mert észrevette, hogy ha kisülés történt, árnyékolt készülékétől bizonyos távolságban mindig föl villant egy bárium-ciano-platinát ernyő. A további vizsgálatok – ezek hét kimerítő hetet vettek igénybe, s közben Röntgen ritkán hagyta el a laboratóriumot – többek között arról tanúskodtak, hogy a föl villanások okozója egyenes vonalban a katódsugárcső felől érkezik, a sugárzás árnyékot vet, és mágnessel nem lehet eltéríteni. Mielőtt közhírré tette volna fölfedezését, Röntgen meggyőződött róla, hogy az általa tapasztalt hatást nem katódsugarak okozzák, hanem egy olyan természeti erő, amely legalább némileg hasonlít a fényhez.⁶

Még ez a rövid összegezés is feltűnő hasonlatosságokat mutat az oxigén fölfedezésével: mielőtt a vörös higany-oxiddal kísérletezett volna, Lavoisier olyan kísérleteket hajtott végre, amelyek nem a flogisztonparadigma szerint várt eredményeket hozták; Röntgen felfedezése azzal a felismeréssel kezdődött, hogy az ernyő felvillan, amikor nem kéne. Mindketten anomáliát észleltek, olyan jelenséget, amelyre a paradigma nem készítette föl őket, és ez fontos szerepet játszott az új dolog észlelésének megkönnyítésében. Az viszont, hogy észrevették a hibát, mindkét esetben csak a felfedezés előjátéka volt. Mind az oxigén, mind a röntgensugarak tényleges felfedezéséhez további kísérletekre és azok eredményeinek elméleti feldolgozására volt még szükség. Röntgen kutatásainak példájánál maradván, melyik pontnál kellene azt mondanunk, hogy éppen akkor fedezte fel a röntgensugarakat? Semmi esetre sem az első pillanatnál, amikor csak egy föl villanó ernyőt észlelt. Legalább még egy kutató látott ilyen föl villanást, de – és ezt később igencsak bánta – egyáltalán semmit sem fedezett föl.⁷ Szinte ugyanilyen nyilvánvaló, hogy nem tehetjük a felfedezés időpontját a kutatás utolsó hetére sem, hiszen akkor Röntgen a már fölfedezett új sugárzás tulajdonságainak földerítésén dolgozott. Csak annyit mondhatunk tehát, hogy a röntgensugarak fölfedezése Würzburgban történt, 1895. november 8. és december 28. között.

Egy harmadik vonatkozásban viszont nem találunk ugyanilyen szembeötlő párhuzamot az oxigén és a röntgensugarak fölfedezése között. A röntgensugarak fölfedezése az oxigénétől

eltérően – legalábbis az eseményt követő évtizedben – nem okozott észrevehető megrázkódtatást a tudományos elméletben. Milyen értelemben mondhatjuk hát, hogy ez a fölfedezés elkerülhetetlenné tette a paradigma megváltoztatását? Igen nyomós érvek szólnak amellett, hogy nem is történt ilyen változás. Meg kell hagyni, a Röntgen és kortársai által követett paradigmák nem voltak alkalmasak arra, hogy segítségükkel előre megjósolják a röntgensugarak létezését. (Maxwell elektromágneses elmélete még nem volt általánosan elfogadott, a katódsugárzás részecskefelfogása pedig csak a különféle elterjedt feltevések egyike volt.) E paradigmák azonban nem is zárták ki, vagy legalábbis nem zárták ki nyilvánvalóan a röntgensugarak létezését, míg a flogisztonelmélet igenis kizárta Priestley gázának Lavoisier-féle értelmezését. Épp ellenkezőleg, az 1895-ben érvényben levő tudományos elmélet és gyakorlat megengedte sokfajta sugárzás lehetőségét, például a látható, az infravörös és az ultraibolya sugárzásét is. Miért ne fogadhatták volna el a röntgensugárzást mint a természeti jelenségek közismert osztályának még egy változatát? Miért nem fogadták ugyanúgy, mint mondjuk egy újabb kémiai elem fölfedezését? Röntgen idején még javában kerestek és találtak is új elemeket a periódusos rendszer üres helyeinek a kitöltésére. Új elemek keresése bevett kutatási programnak számított a normál tudományban, s a siker csak elismerést váltott ki, meglepetést nem.

A röntgensugárzást azonban nem csupán meglepődve, hanem egyenesen megdöbbenve fogadták. Lord Kelvin először rávasz tréfának nyilvánította az egészet.⁸ Mások ugyan nem vonhatták kétségbe a jelenség létezésének bizonyosságát, de meghökkenetek tőle. Habár a röntgensugárzás nem volt lehetetlen az elfogadott elmélet alapján, de mélyen gyökerező sejtéseknek mondott ellent. Úgy gondolom, hogy ezek a sejtések hallgatóságosan szerepet kaptak a bevett laboratóriumi eljárások fölépítésében és értelmezésében. Az 1890-es években már számos európai laboratóriumban működtek katódsugár-berendezések. Ha Röntgen készüléke röntgensugárzást idézett elő, akkor már egy ideje sok más kutatónak is elő kellett állítania ilyen sugárzást, még ha nem is tudtak róla. Fölmerült, hogy ez a sugárzás, amelynek lehetnek más, még ismeretlen forrásai is, részt vesz eddig tőlük függetlenül magyarázott folyamatokban is. Mindenestre a későbbiekben több, régóta használt készüléket ólommal

kellott árnyékolni. Normál tudományos kutatási programok keretében régebben lebonyolított vizsgálatokat újra el kellett végezni, mert a korábbi tudósok nem ismertek fel és nem ellenőriztek egy fontos változót. Kétségtelen, hogy a röntgensugarak felfedezése hozzáférhetővé tett egy új területet, és így kibővítette a normál tudomány tárgykörét. Egyszersmind azonban – és most ez a fontosabb – megváltoztatott már létező kutatási területeket. Közben az előzőleg paradigmaticus érvényű kutatási eszközöket megfosztotta ettől a rangtól.

Röviden, az a döntés, hogy egy bizonyos készüléket fognak alkalmazni egy bizonyos módon – tudatosan vagy öntudatlanul – együtt járt egy föltevessel, amelynek értelmében csak bizonyos körülmények fordulhatnak elő. Nemcsak az elméletből, hanem a rendelkezésre álló eszközök természetéből is következnek bizonyos elvárások, és ezeknek gyakran döntő szerepük van a tudomány fejlődésében. Egy ilyen elvárás például közrejátszott abban, hogy viszonylag későn fedezték fel az oxigént. Priestley is, Lavoisier is szabványpróbát végzett, hogy megállapítsa a „levegő minőségét”: a vizsgált gáz két térfogategységét összekeverték egy egység nitrogén-oxiddal, a keveréket vízen átszűrték, majd megmérték a visszamaradt gáz térfogatát. A korábbi tapasztalatok alapján – ezekből fejlődött ki a szabványos eljárás – biztosak lehettek benne, hogy a természetes levegő esetén a maradék térfogata egy egység lesz, míg minden más gáz (vagy a tiszta levegő) ennél nagyobb maradékot fog adni. Az oxigénkísérletek során mindketten közel egy térfogategységnyi maradékot találtak, s ennek megfelelően állapították meg, hogy mi ez a gáz. Csak jóval később és részben véletlenül mondott le Priestley a rutinjárásról, és próbálta a vizsgált gázt más arányban keverni a nitrogén-oxiddal. Azt tapasztalta, hogy ha a nitrogén-oxidból négyszeres mennyiséget vesz, akkor szinte nincs is maradék. Amikor elfogadta az eredeti, sok korábbi tapasztalat által szentesített szabványpróbát, egyszersmind azt is elfogadta, hogy nem léteznek olyan gázok, amelyek úgy viselkednek, mint az oxigén.⁹

Idézhetnénk még sok hasonló esetet. Gondoljunk például arra, hogy milyen sokára sikerült megállapítani az uránhasadást. Többek között azért bizonyult olyan nehéznek e magreakció fölismerése, mert a kutatók, akik tudták, hogy mi várható, ha az uránt bombázzák, olyan kémiai reagenseket választottak,

amelyek elsősorban a periódusos rendszer felső részén elhelyezkedő elemek vizsgálatára voltak alkalmasak.¹⁰ Egy kísérleti eljárás kizárólagosként való elfogadása gyakran félrevezető eredménnyel járt. Arra kellene következtetnünk ebből, hogy a tudománynak le kell mondania a szabványpróbákról és a szabványos eszközökről? Ez megfoghatatlan kutatási módszert eredményezne. Paradigmatikus eljárásokra és ezek paradigmaticus alkalmazására éppúgy szüksége van a tudománynak, mint paradigmaticus törvényekre és elméletekre, s hatásuk is ugyanolyan. Elkerülhetetlenül korlátozzák a tudományos kutatás számára egy adott pillanatban hozzáférhető jelenségek körét. Ha ezt elismerjük, akkor talán egyszersmind azt is megértjük, hogy például a röntgensugarak fölfedezése miért kényszeríti a tudományos közösség egy bizonyos csoportját a paradigma megváltoztatására, következésképpen eljárásai és elvárásai megváltoztatására is. Ezek után talán azt is megértjük, hogy ez a fölfedezés, sok tudós előtt ismeretlen, új világot tárt föl, s ily módon nagymértékben hozzájárult ahhoz a válsághoz, melyből végül kialakult a XX. századi fizika.

Utolsó példánk a tudományos fölfedezésre a leydeni palack esete. Az a csoport, amelybe ez a fölfedezés is tartozik, az elmélet által előidézett felfedezések csoportjaként jellemezhető. Elsőre ez a kifejezés paradoxnak tűnhet. Az eddig elmondottakból jórészt az következik, hogy az elmélet által előre megjósolt fölfedezések a normál tudomány körébe tartoznak, és nem eredményeznek újfajta tényeket. A normál tudományból ily módon származó felfedezésekre példaként említettem az előbb azt, ahogyan a XIX. század második felében új kémiai elemeket találtak. Csakhogy nem minden elmélet paradigmaticus elmélet. Mind a paradigma előtti időszakokban, mind a paradigma nagymértékű megváltozását hozó válságok során a tudósok gyakran spekulatív, kidolgozatlan elméletekhez folyamodnak, s ezek is segíthetnek nekik a felfedezésben. Az így elért felfedezés azonban gyakran nem egészen az, mint amire a spekulatív, kísérleti hipotézis alapján számítottak. Csak akkor jön létre fölfedezés, és az elmélet csak akkor válik paradigmává, ha a kísérletet és a kísérleti elméletet egyszerre dolgozzák ki annyira, hogy megfeleljenek egymásnak.

A leydeni palack fölfedezésének módjában föllelhetők mindezek a vonások, valamint az előzőleg említett többi is. Amikor

ez a fölfedezés elkezdődött, a villamosságtani kutatásoknak nem volt egységes paradigmájuk, hanem több elmélet versengett egymással, s ezek mindegyike viszonylag könnyen hozzáférhető tényeken alapult. Egyik elméletnek sem sikerült megnyugtatóan rendet teremtenie az összes elektromos jelenség között. Ez a sikertelenség idézte elő a leydeni palack fölfedezésének hátterét alkotó anomáliákat. Az egymással versengő villamosságtani iskolák egyike fluidumnak tartotta az elektromosságot, és ez a fölfogás többeket arra készítetett, hogy megpróbálják edénybe gyűjteni ezt a fluidumot: egyik kezükben vízzel telt üvegcsét tartottak, és működő elektrosztatikus generátorról lógó vezetékot dugtak bele. Amikor az edényt eltávolították a géptől, és szabad kezükkel megérintették a vizet (vagy egy azzal összekapcsolt vezetékot), mindnyájan erős áramütést éreztek. Ezekkel az első kísérletekkel azonban még nem hozták létre a leydeni palackot. Ez a készülék lassabban alakult ki, és megint lehetetlen pontosan megmondani, hogy mikor fejeződött be a fölfedezése. Az első próbálkozások az elektromos fluidum tárolására csak azért sikerültek, mert a kísérletezők a talajon állva tartották kezükben az edényt. Az elektrikusoknak még rá kellett jönniük, hogy az edényt nemcsak belső, hanem külső vezető bevonattal is el kell látni, és hogy valójában az edény nem is tárolja a fluidumot. A ma leydeni palacknak nevezett készülék olyan kutatások közben alakult ki valamikor, amelyek a kutatókat a fent jelzett fölismerésekre vezették, és amelyek során megismertek más rendellenes jelenségeket is. A leydeni palack létrejöttét eredményező kísérletek – nagy részüket egyébként Franklin végezte el – egyszersmind a fluidumelmélet gyökeres fölülvizsgálatát is szükségessé tették, így az első átfogó paradigmát adták a villamosságtannak.¹¹

Három fenti példánk közös vonásai kisebb-nagyobb mértékben (a megdöbbenő és az előre megjósolt eredmény közti eltérés nagyságának megfelelően) jellemzők minden olyan fölfedezésre, amelynek nyomán újfajta jelenségek válnak ismertté. E sajátosságok: előzetesen tudnak az anomáliáról, a fölismerés fokozatosan és egyidejűleg bontakozik ki a megfigyelések és a fogalmak szintjén, s a paradigmatisz kategóriák és eljárások következetes megváltoztatása ellenállásba ütközik. Az is kimutatható, hogy a jellemző vonások magának az észlelési folyamatnak a természetéhez tartoznak. A Bruner és Postman által

végzett pszichológiai kísérlet megérdemli, hogy a pszichológusok körén kívül is sokkal jobban megismerjék. A kísérleti alanyoknak játékkártyákat kellett fölismerniük, mégpedig úgy, hogy megszabott rövid ideig látták azokat. A kártyák többsége szabályos volt, de akadt köztük néhány szabálytalan is, például egy piros pikk hatos meg egy fekete kör négyes. Egy-egy kísérleti ciklus abból állt, hogy minden egyes kísérleti alanyt minden egyes kártyát fokozatosan egyre hosszabb ideig, újra meg újra megmutattak. Minden kártyalap minden egyes megmutatása után megkérdezték a kísérleti alanytól, hogy mit látott, és a ciklus akkor ért véget, ha egymás után kétszer helyesen ismerte föl az összes kártyalapot.¹²

Sok kísérleti alany már a kártyák legrövidebb ideig tartó megmutatása után is fölismerte a legtöbb kártyát, és az időtartam csekély növelése elegendő volt mindenkinek valamennyi kártyalap fölismerésére. A szabályos kártyáknál a meghatározások általában helyesek voltak, de a szabálytalanokat is majdnem mindig szabályosként határozták meg minden szemmel látható habozás vagy töprengés nélkül. A fekete kör négyest például vagy pikk, vagy kör négyesként határozták meg. Anélkül, hogy fölmerült volna bennük annak a lehetősége, hogy valami nincs rendjén, a kísérleti alanyok a szabálytalan kártyát rögtön besorolták a korábbi tapasztalataik alapján kialakított fogalmi keretek egyikébe. Azt mégsem szívesen mondanánk, hogy valami mást láttak, mint amit a meghatározás során kimondtak. Ha még hosszabb ideig mutatták a szabálytalan kártyákat, a kísérleti alanyok habozni kezdtek, és jelét adták, hogy tudják: valami nincs rendjén. Egyikük például a piros pikk hatos láttán ezt mondta: „Ez a pikk hatos, de valami nincs rendben – a fekete piros keretben van.” Ha az időt még tovább növelték, a habozás és a zavar fokozódott, míg végül – néha egészen hirtelen – a legtöbben habozás nélkül helyesen határozták meg a kártyát. Két-három szabálytalan kártya sikeres meghatározása után pedig a többiek azonosítása már könnyen ment. Néhányan azonban egyáltalán nem voltak képesek megfelelően helyesbíteni fogalmaikat. A szabályos kártyák felismeréséhez szükséges idő negyvenszereséig mutatták nekik a szabálytalanokat, és ezek 10 százalékát még így sem sikerült helyesen meghatározniuk. Akik kudarcot vallottak, gyakran heves szorongást éreztek. Egyikük így kiáltott fel: „Bármi is ez a kártya, egyáltalán nem értem,

milyen színű. Nem is olyan, mint egy kártya. Már azt sem tudom, milyen a színe, pikk-e vagy kőr. Már abban sem vagyok biztos, hogy milyen a pikk. Istenem!"¹³ A következő fejezetben látni fogjuk, hogy néha tudósok is viselkednek így.

Ez a pszichológiai kísérlet – akár hasonlat mivoltában, akár az emberi gondolkodás lényegét kifejezve – csodálatosan egyszerű és meggyőző modelljét adja a tudományos fölfedezés folyamatának. A tudományban, akár csak a kártyakísérletben, az új eredmény csak nehezen bontakozik ki, megjelenése ellenállásba ütközik, mert ellentmond a várakozásoknak. Eleinte ott is az előre megjósoltat és megszokottat észlelik, ahol később anomáliát tapasztalnak. A további megismerés azonban ráébreszti a kutatókat, hogy valami nincs rendjén, vagy arra készíti őket, hogy a jelenséget összefüggésbe hozzák valamivel, ami már korábban tévesnek bizonyult. Az anomália felismerése egy olyan korszak kezdete, amelyben a fogalmi kategóriákat addig módosítják, amíg előre láthatóvá nem válik az, ami eleinte anomália volt. Ezen a ponton fejeződik be a felfedezés. Már hangsúlyoztam, hogy minden alapvető, új tudományos felismerés ilyen vagy nagyon hasonló folyamatnak az eredménye. Hadd jegyezzem meg, hogy ha már felismertük ezt a folyamatot, végre az is kezd érthetővé válni, hogy a normál tudomány – amely nem újításokra irányuló tevékenység, sőt eleinte igyekszik elfojtani őket – miért képes mégis olyan hatékonyan elősegíteni új felismerések jelentkezését.

Minden tudomány történetében az első bevett paradigmáról általában úgy vélekednek, hogy elég jól megmagyarázza az illető tudomány művelői számára könnyen hozzáférhető megfigyelések és kísérletek többségét. A további fejlődéshez ezért rendszerint szükség van bonyolult berendezések építésére, ezotterikus szókészlet és szakmai ismeretek kifejlesztésére, a fogalmak oly mérvű finomítására, hogy egyre kevésbé hasonlítsanak a köznapi józan észben fellelhető ősképeikre. Ez a szakosodás egyrészt a tudósok fantáziájának szigorú korlátozásához és a paradigma megváltoztatásával szembeni, erős ellenálláshoz vezet. A tudomány fokozatosan megmerevedik. Másrészt viszont azokon a területeken, amelyekre a paradigma a tudományos közösség figyelmét ráirányítja, a normál tudomány az adatok rendkívüli finomságát, valamint a megfigyelés meg az elmélet pontos összehangolása olyan értéket jelent, amely meghaladja

tulajdonképpen, belső lényegükből fakadó – nem is mindig különösképpen nagy – jelentőségüket. A főleg előre látott feladatokra szánt különleges berendezések nélkül nem születnének végül új felismerésekhez vezető eredmények. És ha van is ilyen berendezés, új felismerésre többnyire csak az képes, aki – *pontosan* tudva, mire számíthat – észre tudja venni, hogy valami nincs rendjén. Az anomália csak a paradigma adta háttér előtt válik láthatóvá. Minél pontosabb a paradigma, minél szélesebb az érvényességi köre, annál érzékenyebben jelzi az anomáliát, és ennél fogva a kedvező alkalmat is a paradigma megváltoztatására. A fölfedezés normál módszerében még a változással szembeni ellenállás is hasznos; ezt részletesebben a következő fejezetben fogjuk megvizsgálni. Ez az ellenállás biztosítja, hogy nem adják föl túl könnyen a paradigmát, és hogy a tudósok nyomós ok nélkül nem térnek le a paradigma által kijelölt útról, a paradigma megváltozásához vezető anomáliák pedig a meglévő ismeretek lényegéig hatolnak. Pusztán az a tény, hogy jelentős tudományos eredmények gyakran egyszerre születnek meg több laboratóriumban is, jelzi mind a normál tudomány erősen hagyományos jellegét, mind pedig azt, hogy ez a hagyományos tevékenység befejezettsége révén előkészíti önmaga megváltozását.

VII. A VÁLSÁG ÉS A TUDOMÁNYOS ELMÉLETEK LÉTREJÖTTE

A VI. fejezetben áttekintett felfedezések mindegyike vagy oka volt egy paradigma megváltozásának, vagy hozzájárult egy ilyen változáshoz. Azonkívül, az e felfedezésekkel összefonódott változások mind építő és romboló hatásúak is voltak. Miután feldolgozták a felfedezést, a tudósok a természeti jelenségek szélesebb körét vehették figyelembe, vagy pontosabb magyarázatot tudtak adni néhány régebben ismert jelenségre. Ennek azonban ára volt: föl kellett adni korábban általánosan elfogadott vélekedéseket, illetve eljárásokat, és ezzel egyidejűleg az előző paradigmának ezeket az alkotórészeit másokkal helyettesíteni. Már kifejtettem, hogy a normál tudomány révén elért minden felfedezés ilyen változásokkal jár, kivéve azokat, amelyek nem váratlanok, mivel – a részleteken kívül – előre láthatók voltak. Mindamellett nem a fölfedezések a kizárólagos forrásai a paradigmák ilyen rombolva építő változásainak. Ebben a fejezetben azokkal a hasonló, de rendszerint jóval nagyobb változásokkal foglalkozunk, amelyek új elméletek megjelenésének a következményei.

Mivel már kifejtettük, hogy a tudományban tény és elmélet, fölfedezés és fölतालálás nem válik külön kategorikusan és állandó jelleggel, számíthatunk bizonyos átfedésekre e fejezet és az előző között. (Még annak a képtelen gondolatnak is van vonzereje, hogy előbb Priestley fölfedezte, majd Lavoisier fölतालálta az oxigént. Már előfordult az oxigén mint fölfedezés, nemsokára ismét találkozunk vele mint fölतालálással.) Az új elméletek megjelenésével foglalkozva feltétlenül jobban megértjük majd a felfedezéseket is. Az átfedés azonban nem jelent azonosságot. Az előző fejezetben tárgyalt és az ezekhez hasonló felfedezések, legalábbis önmagukban, nem eredményeztek olyan paradigmaváltozásokat, mint a kopernikuszi, a newtoni, a kémiai vagy az einsteini forradalom. Olyan kisebb, inkább csak egy-egy szűkebb szakterületet érintő paradigmaváltozások sem követ-

keztek belőlük, mint amelyet a fény hullámelmélete, a kinetikus hőelmélet vagy Maxwell elektromágneses elmélete hozott. Hogyan származhatnak a normál tudományból ilyen új elméletek, hiszen a normál tudományos tevékenység még kevésbé irányul új elméletek keresésére, mint új felfedezésekre?

Ha az anomália felismerése szerepet játszik új jelenségek feltűntetésében, senkit sem lephet meg, hogy az elmélet minden elfogadható megváltozásának előfeltétele egy hasonló, csak mélyebb felismerés. Úgy gondolom, a tudománytörténet egészen egyetelműen igazolja ezt. A ptolemaioszi csillagászat helyzete botrányos volt Kopernikusz bejelentése előtt.¹ Galilei hozzájárulása a kinematika fejlődéséhez közvetlenül azokra a nehézségekre támaszkodott, amelyeket a skolasztikus bírálók fedeztek föl Arisztotelész elméletében.² Newton új fény- és színelmélete annak felismeréséből eredt, hogy egyik meglevő paradigma előtti elmélet sem képes megmagyarázni a színkép hullámhosszát, a newtoni elméletet felváltó hullámelméletet pedig akkor tették közzé, amikor egyre több gondot okoztak a diffrakciós és polarizációs jelenségek meg a Newton elmélete közötti eltérések.³ A termodinamika két XIX. századi fizikai elmélet összeütközéséből, a kvantummechanika pedig a fekete test sugárzása, a fahők és a fotoelektromos jelenség körüli sokféle nehézségből született meg.⁴ Mindezekben az esetekben – Newtonét kivéve – az anomáliatudat oly sokáig tartott és oly mély hatása volt, hogy az általa érintett tudományterületekről joggal mondhatjuk: növekvő válság jellemezte őket. Mivel új elméletek jelentkezésének előfeltétele a paradigma nagymérvű lerombolása és a normál tudomány problémáinak, eljárásainak jelentős megváltozása, létrejöttüket általában az erős szakmai bizonytalanság időszaka előzi meg. Ezt a bizonytalanságot – amint az nem csodálható – az váltja ki, hogy a normál tudomány rejtvényeit rendre nem sikerül úgy megoldani, ahogyan kellene. A meglevő szabályok csődje új szabályok keresésének előjátéka.

Vizsgáljuk meg először a paradigmaváltozás különösen nevezetes esetét, Kopernikusz csillagászati rendszerének kialakulását! Elődjé, a ptolemaioszi rendszer kialakulásakor, az időszámításunk kezdete előtti és utáni két évszázadban csodálatos pontossággal jósolta meg előre mind a csillagok, mind a bolygók helyzetváltozásait. Egyetlen más ókori rendszer sem volt erre képes; a csillagokra vonatkozóan még ma is széles körben

használják a ptolemaioszi csillagászati rendszert gyakorlati megközelítésként; a bolygókat illetően Ptolemaiosz előrejelzései ugyanolyan jók voltak, mint Kopernikuszéi. Csakhogy egy tudományos elmélet csodálatos pontossága nem jelenti azt, hogy teljesen pontos. A bolygók helyzete és a napéjegyenlőségek precessziója tekintetében a ptolemaioszi rendszer alapján adott előrejelzéseket a legpontosabb megfigyelések sohasem igazolták teljesen. E kisebb eltérések további csökkentése alkotja a Ptolemaiosz számos követőjét foglalkoztató legfontosabb normál csillagászati kutatási problémák nagy részét, ugyanúgy, ahogy a csillagászati megfigyelések és a newtoni elmélet egymáshoz közelítése adta a normál kutatási feladatokat Newton XVIII. századi követői számára. A csillagászoknak egy ideig minden okuk megvolt annak feltételezésére, hogy ezek a próbálkozások ugyanolyan sikeresek lesznek, mint azok, amelyek végül a ptolemaioszi rendszer létrejöttéhez vezettek. Bármely egyedi eltérést képesek voltak kiküszöbölni az összegezett keringési pályák Ptolemaiosz-féle rendszerének részleges kiigazításával. Idő múltával azonban aki megvonta számos csillagász normál kutatómunkájának mérlegét, azt állapíthatta meg, hogy a csillagászat bonyolultsága sokkal gyorsabban növekedett, mint a pontossága, és hogy az egyik ponton megszüntetett eltérés valószínűleg felbukkan máshol.⁵

Mivel a csillagászat fejlődésének folytonossága külső okokból ismételtelen megszakadt, és mivel a nyomtatás feltalálása előtt a csillagászok közötti kapcsolat korlátozott volt, ezeket a nehézségeket csak lassan ismerték föl. Eljött azonban a tudatosság ideje. X. Alfonz már kijelentette a XIII. században, hogy ha a világ megteremtésekor Isten megkérdezte volna az ő véleményét, jó tanácsokat kaphatott volna. A XVI. században Kopernikusz munkatársa, Domenico di Novara úgy vélte, hogy egy olyan nehézkes és pontatlan rendszer, mint amilyenné Ptolemaiosz rendszere vált, nem írhatja le helyesen a természetet, maga Kopernikusz pedig azt írta a *De Revolutionibus* előszavában, hogy az örökölt csillagászati hagyomány végül csak torzszülöttet hozott létre. A XVI. század elejére Európa legjobb csillagásza közül egyre többen ismerték föl, hogy a csillagászat paradigmája alkalmatlan a saját hagyományos problémáira való alkalmazásra. Ez a felismerés volt az előfeltétele annak, hogy Kopernikusz elvesse a Ptolemaiosz-féle paradigmát, és újat ke-

ressen. Híres előszavában mindmáig klasszikus leírását adja egy válságállapotnak.⁶

A csillagászat válsága, amellyel Kopernikusznak szembe kellett néznie, természetesen nemcsak a normál tudományos rejtvényfejtő tevékenység csődjéből állt. Egy részletesebb feldolgozásban szólni kellene arról is, hogy a társadalomnak naptárreformra volt szüksége, s ez tette különösen sürgős feladattá a precesszió rejtvényének megfejtését. Ezenkívül egy teljesebb beszámolóban figyelembe vennénk a középkori Arisztotelész-kritikákat, a reneszánsz neoplatonizmus kialakulását és több más jelentős történelmi tényezőt. A válság magja azonban így is a technikai, rejtvényfejtő munka csődje marad. Az érett tudományok területén – a csillagászat pedig már az ókorban érett tudománnyá vált – elsősorban az előbb említett és más hasonló külső tényezők döntenek el, hogy mikor következik be a csőd, hogy milyen könnyen vesznek észre, és hogy melyik területen jelentkezik először, mert erre a területre különös figyelmet fordítanak. Bár e kérdések roppant fontosak, most kívül esnek vizsgálódásaink körén.

Nagyjából tisztázván a kopernikuszi forradalmat, áttérünk második, meglehetősen eltérő példánkra, arra a válságra, amely megelőzte az égés Lavoisier-féle oxigénelméletét. Az 1770-es években sok tényező együttes hatása okozta a kémia válságát, s a történészek nem egészen értenek egyet sem e tényezők természetének, sem viszonylagos súlyának a megítélésében. Abban azonban mindenki egyetért, hogy két tényező elsőrendű szerepet játszott: a levegőkémia kialakulása és a súlyviszonyok kérdése. A levegőkémia története a XVIII. században kezdődött, a légszivattyú kifejlesztésével és alkalmazásával. A következő évszázadban e szivattyú és más pneumatikus eszközök alkalmazása során a kémikusokban fokozatosan kialakult az a felismerés, hogy a levegő mindenképpen aktív résztvevője a vegyi reakcióknak. Néhány kivételtől eltekintve azonban – és ezek is oly kevésbé voltak egyértelműek, hogy talán egyáltalán nem is kivételek – a kémikusok továbbra is azt hitték, hogy a levegő az egyetlen gáz. Egészen 1756-ig, amikor Joseh Black kimutatta, hogy a szén-sav (CO₂) következetesen megkülönböztethető a közönséges levegőtől, úgy gondolták, hogy a kétféle gáz csak szennyezettsége tekintetében különbözik.⁷

Black munkája nyomán a gázok kutatása gyorsan fejlődött. A legkiemelkedőbb teljesítmények Cavendish, Priestley és Scheele

névéhez fűződnek, akik több új módszert dolgoztak ki, amelyekkel meg lehetett különböztetni az egyikfajta gázt a másiktól. Mindezek a kutatók, Blacktól Scheeléig, hittek a flogiszonelméletben, és gyakran alkalmazták is kísérleteik megtervezése és értelmezése közben. Scheele először tulajdonképpen egy olyan bonyolult kísérletsorozattal állított elő oxigént, amelyet eredetileg arra szánt, hogy a hőt megfossa flogisztontartalmától. E tudósok kísérleteinek eredményeként azonban olyan sokfajta gázt kaptak, és a gázoknak olyan bonyolult tulajdonságait derítették föl, hogy a flogiszonelmélet egyre kevésbé tudott megbirkózni a kísérleti tapasztalattal. Bár e vegyészek egyike sem javasolta, hogy valami mással váltsák föl a flogiszonelméletet, képtelenek voltak azt következetesen alkalmazni. Amikor az 1770-es évek elején Lavoisier megkezdte kísérleteit a különböző fajta levegőkkel, majdnem annyi változata volt a flogiszonelméletnek, ahány levegőkémikus.⁸ Egy elmélet változatainak ilyen túlburjánzása jellegzetes válságtünet. Kopernikusz is panaszkodott erről előszavában.

Az a válság azonban, amellyel Lavoisier szembekerült, nem csupán abból fakadt, hogy egyre zavarosabb lett a flogiszonelmélet, és egyre kevésbé volt használható a levegőkémiában. Sokat foglalkozott annak tisztázásával is, hogy miért következik be a legtöbb anyag égetésekor vagy hevítésekor súlygyarapodás. Ennek a problémának is hosszú előtörténete van. Néhány arab kémikus már mindenképpen tudta, hogy bizonyos fémeknek hevítéskor nő a súlya. A XVII. században több kutató ugyanebből a tényből arra következtetett, hogy a hevített fém magába szívja a légkör valamelyik alkotóelemét. A korabeli kémikusok többsége azonban fölöslegesnek tartotta ezt a következtetést. Ha vegyi reakciók megváltoztathatják a folyamatban részt vevő anyagok térfogatát, színét és szerkezetét, miért ne változtathatnák meg a súlyukat is? A súlyt nem tekintették mindig az anyagmennyiség mértékének. Továbbá, a hevítéskor fellépő súlygyarapodás elszigetelt jelenség maradt. A legtöbb természetes anyag (például a fa) hevítéskor veszít a súlyából, a flogiszonelmélet pedig később megállapította, hogy ennek így is kell lennie.

A XVIII. század folyamán azonban a súlygyarapodás kérdésének kezdetben kielégítő megoldásai már egyre nehezebben voltak tarthatók. A kémikusok egyre többször tapasztalták,

hogy a hevítés súlygyarapodással jár, egyrészt azért, mert mind nagyobb mértékben használták a mérleget szabványos kémiai eszközként, másrészt pedig azért, mert a levegőkémia fejlődése lehetővé és kívánatosá tette a reakciók gáznemű termékeinek visszatartását. Ugyanakkor a kémikusok fokozatosan elsajátították Newton gravitációs elméletét, és ennek nyomán kezdték bizonyítani, hogy a súlygyarapodásnak az anyagmennyiség növekedését kell jelentenie. Ezek a következtetések nem vezettek a flogiszonelmélet elvetéséhez, mivel ezt az elméletet sokféleképpen át lehetett alakítani. Lehet, hogy a flogiszonnak negatív súlya van, vagy talán tűzrészecskék, netán valami más hatolt be a hevített testbe, éppen akkor, amikor a flogiszon eltávozott belőle. Akadtak még más magyarázatok is. Ha a súlygyarapodás problémája nem vezetett is a flogiszonelmélet elvetéséhez, egyre több olyan speciális vizsgálat lett az eredmény, amelyben fontos szerepet játszott ez a kérdés. Az egyik vizsgálatról szóló beszámolót – „A súllyal rendelkező anyagnak tartott flogiszonról annak alapján [elemezve], hogy milyen súlyváltozásokat okoz azokban a testekben, amelyekkel egyesül” – 1772 elején olvasták föl a Francia Akadémián; ennek az évnak a végén adta át Lavoisier híres lepecsételt főjegyzését az Akadémia titkárnak. Lavoisier akkor írta meg följegyzését, amikor a sok évig csak a kémikusok tudatának permén lebegő probléma elsőrendűen fontos, megoldatlan rejtvényné vált.⁹ A flogiszonelmélet több változatát dolgozták ki a rejtvény megoldására. A levegőkémia problémáin kívül a súlygyarapodás kérdései is egyre nehezebben felismerhetővé tették a flogiszonelmélet lényegét. Habár még mindig hittek és bíztak benne mint munkaeszközben, a XVIII. századi kémiának ez a paradigmája fokozatosan elvesztette kivételes helyzetét. Az általa irányított kutatás mindinkább hasonlított a paradigma előtti korszak egymással versengő iskoláiban folyó munkához, s ez is jellegzetes válságtünet.

Harmadik és utolsó példaként vizsgáljuk meg a fizika XIX. század végi válságát, amely utat nyitott a relativitáselmélet megjelenéséhez. E válság egyik gyökere a XVII. század végén található meg, amikor néhány természetfilozófus – a legnevezetesebb közülük Leibniz – bírálta Newtont azért, mert megőrizte az abszolút tér klasszikus fogalmának korszerűsített változatát.¹⁰ Ha nem sikerült is nekik egészen, majdnem képesek voltak

kimutatni, hogy az abszolút helyzeteknek és az abszolút mozgásoknak egyáltalán semmi szerepük nincs Newton rendszerében, sőt sikerült burkoltan utalniuk arra is, hogy milyen esztétikai vonzereje lehetne a tér és az idő teljesen relativisztikus fölfogásának; ez később beigazolódtott. Kritikájuk azonban tisztán logikai jellegű volt. Hasonlóan a kopernikuszi elmélet korai követőihöz, akik Arisztotelésznek a Föld mozdulatlanságára vonatkozó bizonyítékait bírálták, nem is álmodtak arról, hogy a relativisztikus rendszerre való áttérésnek megfigyelésbeli következményei lehetnek. Nézeteiket egyáltalán nem hozták összefüggésbe azokkal a problémákkal, amelyek akkor merültek föl, amikor a Newton-elméletet a természetre alkalmazták. Így nézeteik velük együtt eltűntek a XVIII. század első évtizedei során, és csak a XIX. század utolsó évtizedeiben támadtak fel, amikor már teljesen más volt a viszonyuk a fizika gyakorlatához.

A tér relativisztikus filozófiájával végső soron összefüggő technikai problémák körülbelül 1815 után, a fény hullámelméletének elfogadásával kezdtek behatolni a normál tudományba, de az 1890-es évekig nem váltottak ki válságot. Ha a fény a newtoni törvények által meghatározott, mechanikai éterben terjedő hullámmozgás, akkor mind a csillagászati megfigyelés, mind a földi kísérlet képes lehet az éteren keresztül történő áramlás kimutatására. A csillagászati megfigyelések közül csak az aberrációmegfigyelések ígértek eléggé pontos idevágó információt, s ezért a normál kutatásban megszokott feladattá vált az éteráramlás kimutatása aberrációmérésekkel. Sok különleges berendezést készítettek ennek megoldására. E berendezések azonban nem mutattak ki észlelhető áramlást, így a problémát a megfigyelőktől és kísérletezőktől a teoretikusok vették át. A század közepe táján Fresnel, Stokes és mások az éterelmélet számos változatát agyalták ki, hogy megmagyarázzák, miért nem sikerül észlelni az áramlást. Minden ilyen változat feltételezte, hogy a mozgó test magával sodor valamennyi étert, és mindegyik elég jól megmagyarázta nemcsak a csillagászati megfigyelés negatív eredményeit, hanem a földi kísérletekét is, beleértve Michelson és Morley híres kísérletét is.¹¹ Egyelőre csak az elmélet különböző változatai ütköztek össze egymással. Megfelelő kísérleti eljárások híján ez az ellentét nem éleződött ki.

Csak akkor változott meg ismét a helyzet, amikor a XIX. század utolsó két évtizedében fokozatosan elfogadták Maxwell

elektromágneses elméletét. Maga Maxwell Newton követője volt; úgy vélte, hogy a fény és az elektromágnesesség általában a mechanikus éter részecskéinek változó elmozdulásaival magyarázható. Elektromosság- és mágnesességelméletének legelső változataiban még közvetlenül felhasználta azokat a föltételezett tulajdonságokat, amelyekkel ő ruházta föl ezt a közeget. E tulajdonságokat elhagyta ugyan a végleges változatból, de elektromágnesesség-elméletét még akkor is összeegyeztethetőnek vélte a newtoni mechanikai szemlélet valamilyen átfogalmazásával.¹² Egy megfelelő átfogalmazás kifejtése erősen foglalkoztatta őt és követőit. Csakhogy – és hasonló jelenség újra meg újra előfordul a tudománytörténetben – a szükséges átfogalmazás tényleges megvalósítása roppant nehéznek bizonyult. Ahogy a Kopernikusz javasolta csillagászati elmélet, megalkotója optimizmusának ellenére, a meglévő kinetikai elméletek fokozódó válságát idézte elő, Maxwell elmélete, newtoni eredete ellenére, végül válságba vitte azt a paradigmát, amelyből származott.¹³ Ráadásul éppen az éterhez viszonyított mozgás imént tárgyalt problémái körül éleződött ki leginkább a válság.

Maxwell a mozgó testek elektromágneses viselkedésének tárgyalásakor nem említette, hogy ezek magukkal sodorják az éter egy részét, és később is igen nehéz volt beépíteni elméletébe ilyen sodró hatást. Ennek folytán eredetileg az éteráramlás kimutatására szánt egész észleléssorozat vált anomáliává. Ezért tettek az 1890 utáni években egy sor kísérleti és elméleti erőfeszítést annak érdekében, hogy kimutassák az éterhez viszonyított mozgást, és hogy bevezessék a mozgó testek étert sodró hatását Maxwell elméletébe. A kísérletek kivétel nélkül sikertelenek voltak, bár egyesek úgy gondolták, hogy eredményeik többféleképpen értelmezhetők. Az elméleti próbálkozások – különösen Lorentzéi és Fitzgeraldéi – eleinte sokat ígérő eredményeket hoztak, de újabb rejtvényeket is föltártak, és végül egymással versengő elméletek olyan túlburjánzásához vezettek, amely, mint láttuk, a válság kísérője.¹⁴ Ebben a történelmi keretben jelentkezett Einstein speciális relativitáselméletével 1905-ben.

E három példa szinte teljességgel tipikus. Új elmélet mindhárom esetben csak a normál problémamegoldó tevékenység nyilvánuló csődje után jelentkezett.

Kopernikusz esetét kivéve, ahol nagyon nagy szerepet játszottak tudományon kívüli tényezők, a csőd és jele, az elméletek

túlburjánzása legfeljebb egy-két évtizeddel előzte meg az új elmélet közzétételét. Úgy látszik, az új elmélet közvetlen válasz a válságra. Figyeljük meg azt is – bár ez talán nem annyira tipikus –, hogy régóta ismert problémákkal kapcsolatban jelentkeznek a csőd. Az addigi normál tudományos gyakorlat alapján okkal lehetett megoldottnak vagy csaknem megoldottnak tekinteni őket, s ezt tudván, könnyebben érthető, miért érezték olyan súlyosnak a kudarcot, amikor bekövetkezett. Egy újfajta probléma esetében a kudarc gyakran elkeserítő, de sohasem meglepő. A problémák is, a rejtvények is ritkán engednek az első rohamnak. Végül, e három példának van még egy közös vonása, s ez segíthet hatásosabban érzékeltetni a válság szerepét: legalább részben előre látták mindhárom válság megoldását már a válságmentes időszakban is, de válság híján nem vettek tudomást az előrejelzésekről.

A leghíresebb ilyen előrejelzés: az i. e. III. században Arisztarkhosz hiánytalanul kifejtette a később Kopernikusz műveként megismert heliocentrikus világképet. Gyakran mondják, hogy ha a görög tudomány kevésbé lett volna deduktív és dogmatikus, akkor a heliocentrikus csillagászat kidolgozása tizennyolc évszázaddal korábban kezdődhetett volna.¹⁵ Ez a felfogás azonban figyelmen kívül hagy minden történelmi összefüggést. Amikor Arisztarkhosz gondolata megszületett, a mérhetetlenül ésszerűbb geocentrikus rendszer nem szorult rá arra, hogy esetleg egy heliocentrikus rendszerrel helyesbítsék. A ptolemaioszi csillagászat egész fejlődése, sikerei és bukása egyaránt az Arisztarkhosz utáni századokra esik. Egyébként nem is volt nyomós ok arra, hogy komolyan vegyék Arisztarkhoszt. Még Kopernikusz alaposabban kidolgozott rendszere sem volt sem egyszerűbb, sem pontosabb Ptolemaioszénál. A rendelkezésre álló megfigyelésanyag alapján – mint ahogy ez az alábbiakból még világosabban ki fog derülni – nem lehetett választani közülük. Ilyenformán a csillagászokat Kopernikusz rendszerének elfogadására készítő egyik tényező az volt, hogy felismerték a válságot, hiszen elsősorban ez volt az újítás oka. (Arisztarkhosz rendszerét pedig többek között azért nem fogadták el annak idején, mert akkor nem volt válság.) A ptolemaioszi rendszer képtelen volt megoldani problémáit; eljött az ideje, hogy a versenytárs is kapjon egy lehetőséget. A másik két válság megoldása nem volt ilyen mértékben előre látható. Az azonban

bizonyos, hogy az égést a légkör valamilyen alkotóelemének elnyeléseként értelmező elméletek – Rey, Hooke és Mayow dolgozta ki ezeket a XVII. században – részben azért nem találtak kellő fogadtatásra, mert nem voltak kapcsolatban a normál tudományos gyakorlat egy fölismert zavargójával.¹⁶ És a szembesítés hasonló elmulasztása volt a fő oka annak is, hogy a XVIII. és a XIX. századi tudósok nem vettek tudomást Newton relativista bírálóiról.

A tudományfilozófusok ismételtlen kimutatták, hogy bármely adategyüttesre több elméleti magyarázat is épülhet. A tudománytörténet azt mutatja, hogy – különösen egy új paradigma fejlődésének korai szakaszaiban – nem is nagyon nehéz ilyen lehetőségeket kitalálni. Csakhogy a tudósok éppen az ilyen alternatív értelmezések kidolgozására vállalkoznak a legritkábban, kivéve tudományuk fejlődésének paradigma előtti szakaszát és későbbi kibontakozásának különleges helyzeteit. Mindaddig, amíg a paradigma szolgáltatta eszközök képesek bizonyulnak a paradigmából következő feladatok megoldására, a tudomány akkor halad a leggyorsabban, és akkor hatol a legmélyebbre, ha magabiztosan használják ezeket az eszközöket. Az ok is nyilvánvaló. Ugyanúgy, mint az iparban, az eszközkészlet felújítása a tudományban is rendkívül költséges, ezért csak szükség esetén szabad ehhez folyamodni. A válságok azért fontosak, mert jelzik, hogy itt az ideje az eszközkészlet felújításának.

VIII. A VÁLSÁGRA ADOTT VÁLASZ

Elfogadván, hogy új elméletek föltűnésének szükséges előfeltételei a válságok, a következő kérdés az, hogyan válaszolnak a tudósok a válságok létre. Éppoly fontos, mint amilyen nyilvánvaló, hogy részben megtalálhatjuk a feleletet, ha megfigyeljük: mi az, amit még súlyos és hosszan tartó anomáliákkal találkozáva sem tesznek sohasem a tudósok. Esetleg már kezdik elveszíteni bizalmukat, és kezdenek fontolóra venni más lehetőségeket is, mégsem adják föl az őket válságba juttató paradigmát. Nem tekintik ellenpéldának az anomáliákat, noha a tudományfilozófiai terminológia szerint természetesen azok. Ez az állítás részben azokra a történeti tényekre alapozott általánosítás, amelyeket eddig bemutatott és későbbi, átfogóbb példáinkkal érzékeltetünk. E példák már sejtetik azt, amit a paradigmák elvetésének ezután következő vizsgálata majd teljesebben feltár: ha egyszer egy tudományos elmélet paradigmává emelkedett, csak akkor nyilvánítják érvénytelennek, amikor már van egy helyettesítésére alkalmas, másik elmélet. A tudomány fejlődésének történeti kutatása mindaddig egyáltalán nem talált az elméletek cáfolatának arra a módszertani sztereotípiájára hasonlító folyamatot, amely a természettel való közvetlen összevetést írja elő. Ez a megjegyzés nem jelenti sem azt, hogy a tudósok nem szokták elvetni a tudományos elméleteket, sem pedig azt, hogy ehhez nem elengedhetetlen a tapasztalat és a kísérletezés. Azt azonban igenis állítjuk – és végül is ez lesz egyik központi mondanivalónk –, hogy a tudósok, mikor úgy döntenek, hogy elvetnek egy korábban elfogadott elméletet, döntésüket nem pusztán az elmélet és a természet összevetésére alapozzák. Az egyik paradigma elvetését eredményező elhatározás mindig együtt jár egy másik paradigma elfogadására vonatkozó elhatározással, és az ehhez vezető döntés egyaránt magában foglalja a paradigmák összevetését a természettel és egymással.

Van még egy okunk kétségbe vonni, hogy a tudósok azért vetnék el a paradigmákat, mert anomáliákba vagy ellenpéldákba ütköznek. Ennek kifejtése során már érvelésem is sejteti majd e tanulmány másik fő tételét. Kétkedésünk fentebb körvonalazott indokai pusztán tárgyiak, azaz ellenpéldák egy elterjedt ismeretelméleti felfogással szemben. Ha nem tévedek, ellenpéldák mint olyanok legfeljebb elősegíthetik egy válság kialakulását, vagy pontosabban, egy már nagyon is létező válság fokozódását. Önmagukban nem cáfolhatják és nem is fogják megcáfolni az említett filozófiai elméletet, mert védelmezői ugyanazt teszik majd, mint – ahogy már láttuk – a tudósok cselekednek, ha anomáliával találkoznak: elméletük számos változatát és *ad hoc* módosítását gondolják ki, hogy kiküszöböljenek minden nyílt ellentétet. Az irodalomban sok idevágó módosítás és megszorítás található. Ezért ezek az ismeretelméleti ellenpéldák csak akkor többek jelentéktelen bosszantásoknál, ha elősegítik a tudomány egy olyan új, másféle elemzésének kialakulását, amelyben többé nem zavarforrások. Továbbá, ha itt is alkalmazható a tudományos forradalomban majd megfigyelhető séma, akkor az ellenpéldák sem látszanak többé egyszerűen tényeknek. Egy ismeretelmélet felől nézve sokkal inkább tautológiáknak, olyan helyzeteket leíró állításoknak látszhatnak majd, amelyek másképp elképzelhetlenek volnának.

Többen észrevették például, hogy Newton második törvényét, bár több száz év nehéz tárgyi-elméleti kutatása után fogalmazódott meg, a newtoni elmélet követői jórészt tisztán logikai állításnak tekintik, amelyet akárhány megfigyelés sem cáfolhat meg.¹ A X. fejezetben látni fogjuk, hogy az állandó súlyviszonyok kémiai törvénye Dalton előtt igen kétes általános érvényű, véletlen kísérleti megállapítás volt. Dalton munkássága után viszont a vegyület olyan meghatározásának alkotórészévé vált, amelyet önmagában semmiféle kísérlet nem rendíthetett volna meg. Hasonló jövő vár arra az általánosításra is, hogy a tudósok nem vetik el a paradigmákat, amikor anomáliákba vagy ellenpéldákba ütköznek. Ugyanis ha megtennék, nem maradnának tudósok.

Bár nevüket valószínűleg nem őrizte meg a történelem, néhányan bizonyára azért kényszerültek fölhagyni a tudománnyal, mert képtelenek voltak elviselni a válságot. Az alkotó tudósok – éppúgy, mint a művésznek – tudnia kell élni egy

eresztékeiből kikökönt világban is; ezt a kényszerűséget más-
hol a tudományos kutatással járó „nélkülözhetetlen feszül-
ségnek” neveztem.² Úgy gondolom azonban, hogy ha valaki
egy másik foglalkozás kedvéért lemond a tudományról, ez csak
egyik módja a paradigma elvetésének, amit viszont önmaguk-
ban az ellenpéldák is előidézhetnek. Ha egyszer megtalálták az
első, a természetszemléletet meghatározó paradigmát, többé nem
lehetséges paradigma nélküli kutatás. Aki úgy vet el egy para-
digmát, hogy nem pótolja azonnal másikkal, az magát a tudomá-
nyt veti el. Tettével csak önmagára vet rossz fényt, a paradig-
mára nem. Kollégái pedig menthetetlenül „szerszámaikat hibáz-
tató ácsnak” fogják tekinteni.

Legalább ugyanilyen joggal állíthatjuk ennek a fordítottját is:
nem lehetséges kutatás ellenpéldák nélkül. Gondoljunk csak
arra, hogy mi a különbség a normál tudomány és a válságban
levő tudomány között. Biztosan nem az, hogy a normál tudomá-
ny nem ütközik ellenpéldákba. Épp ellenkezőleg: korábbi
állításunk szerint a normál tudományt alkotó rejtvények csak
azért léteznek, mert a tudományos kutatást megalapozó
egyetlen paradigma sem oldja meg soha teljesen a kutatás
összes problémáját. Nagyon kevés olyan paradigma volt,
amely valamikor tökéletes megoldásnak látszott (például a
geometriai optika), s ezek hamarosan már egyáltalán nem is
adtak kutatási problémákat, hanem technológiai eszközökké
váltak. A tisztán instrumentális problémákat kivéve, a nor-
mál tudomány minden rejtvénynek számító problémája egy
másik szempontból ellenpéldának, tehát válságforrásnak te-
kinthető. Mindazok az esetek, amelyeket Kopernikusz ellenpél-
dának tartott, a Ptolemaiosz utáni többi csillagász nagy része
szerint a megfigyelés és az elmélet egymáshoz igazításából
fakadó rejtvény volt. Lavoisier ellenpéldának tekintette azt,
ami Priestley szerint a flogisztonelmélet továbbfejlesztése során
sikeresen megoldott rejtvény volt. Einstein pedig ellenpél-
dának tekintett olyan problémákat, amelyeket Lorentz, Fitz-
gerald és mások Newton és Maxwell elméletének továbbfej-
lesztése közben fölmerülő rejtvénynek tartottak. A válság
viszont önmagában még nem változtat ellenpéldává egy rejt-
vényt. Nincs ilyen éles választóvonal. A válság a paradigma
változatainak túlbujánzásával inkább oly módon lazítja a nor-
mál rejtvényfejtés szabályait, hogy végül lehetővé teszi egy

új paradigma megjelenését. Úgy gondolom, itt csak két lehe-
tőség van: vagy egyetlen tudományos elmélet sem ütközik soha
ellenpéldába, vagy minden elméletnek mindig akadnak ellen-
példái.

Hogyan foghatták fel másképp ezt a helyzetet? E kérdés
megválaszolása lehetetlen a filozófia körébe tartozó történeti és
kritikai vizsgálódások nélkül, márpedig ezekre itt nincs mó-
dunk. Megemlíthetünk azonban legalább két okot, amely miatt
a tudomány különösen alkalmasnak mutatkozhatott annak az
általános tételnek szemléltetésére, hogy egy kijelentés igaz vagy
hamis voltát önmagában és egyértelműen eldönti az állítás és a
valóság szembesítése. A normál tudomány folytonosan arra
törekszik, és arra is kell törekednie, hogy az elmélet és a valóság
minél pontosabban megfeleljen egymásnak, s ez a tevékenység
könnyen látszhat az elmélet ellenőrzésének, illetve megerő-
sítését vagy megcáfolását célzó kutatásnak. Valójában a normál
tudomány célja olyan rejtvények megfejtése, amelyeknek már a
létezése is feltételezi a paradigmák elfogadását. Egy sikertelen
megoldási kísérlet csak a tudásra vet rossz fényt, az elméletre
nem. Itt még talán a fentieknél is inkább érvényes a mondás:
„Silány ács az, aki a szerszámaikat hibáztatja.” Az a módszer, hogy
a tudomány oktatásakor egy elmélet tárgyalásába beleszövik a
legjellemzőbb alkalmazásaira vonatkozó megjegyzéseket, hoz-
zájárul egy túlnyomóan más forrásokból táplálkozó bizonyítás-
elmélet megerősödéséhez. Ha valaki egy tudományos szöveget
olvas, a legcsekélyebb ok is elegendő, hogy az alkalmazásokat
az elmélet bizonyítékának és hitele alapjának tekintse. Csak-
hogy a természettudományt tanuló diák az elméleteket nem a
bizonyítás, hanem a tanár és a tankönyv tekintélye alapján
fogadja el. Tehet-e másként? Ért-e hozzá eléggé, hogy másként
tegyen? A tankönyvekben közölt alkalmazási módok nem bizo-
nyításként szerepelnek, hanem azért, mert megtanulásuk hoz-
zártartozik a bevett kutatási gyakorlatot megalapozó paradigma
elsajátításához. Ha az alkalmazásokat bizonyításként fejtnek
ki, akkor a tankönyvek szerzőit már pusztán azért is rendkívüli
részhajlással vádolhatnánk, mert nem közölnek alternatív ér-
telmezéseket, vagy mert eltekintenek az olyan problémáktól,
amelyekre a tudósoknak nem sikerült a paradigmának meg-
felelő megoldást találniuk. Márpedig e vád teljességgel alap-
talan.

Térjünk most vissza eredeti kérdésünkhöz: hogyan válaszolnak a tudósok, ha anomáliát tapasztalnak az elmélet és a természet közötti megfelelés tekintetében? Az imént elmondottak azt mutatják, hogy még az sem vált ki szükségképpen mély reakciót, ha megmagyarázhatatlanul nagyobb eltérést tapasztalnak, mint az elmélet egyéb alkalmazásainál. Mindig vannak bizonyos eltérések, de általában még a legmakacsabbak is visszahatnak a normál tudomány gyakorlatára. A tudósok sokszor inkább várnak, különösen, ha a tudományterület más részein sok megoldatlan probléma van. Már említettük például azt, hogy Newton eredeti számításai után hatvan évig a Hold-perigeum elmozdulásának a számításból adódó értéke csak a fele volt a tapasztaltaknak. Mivel Európa legjobb elméleti fizikusai hosszú ideig sikertelenül küszködtek a jól ismert eltéréssel, némelyek azt javasolták, hogy módosítsák Newton fordított négyzetes törvényét. E javaslatokat azonban senki sem vette túlságosan komolyan, és a gyakorlat bebizonyította a súlyos anomália iránti türelem indokoltságát. 1750-ben Clairaut-nak sikerült bebizonyítania, hogy csak az alkalmazásban volt matematikai hiba, és hogy Newton elmélete ugyanúgy érvényes, mint azelőtt.³ Még a makacs és elismert anomália sem okoz mindig válságot, még olyankor sem, amikor lehetetlennek látszik, hogy pusztán hibát követtek el (talán mert egyszerűbb vagy megszozott és máshol eredményes matematikai apparátussal dolgoznak). Senki sem vonta komolyan kétségbe a newtoni elméletet amiatt, hogy – mint már régen tudták – eltérés van egyfelől az elméletből következő előrejelzések, másfelől a hangsebesség és a Merkúr mozgása között. Az első eltérést végül teljesen váratlanul egészen más célból végzett hőtani kísérletek szüntették meg; a második az általános relativitáselmélet megjelenésével tűnt el, egy válság után, amelynek létrejöttében ez az eltérés nem játszott semmilyen szerepet.⁴ Nyilván egyik sem látszott elég lényegesnek, hogy kiváltsa a válsággal járó rossz közérzetet. Megtehették, hogy elfogadták ugyan őket ellenpéldának, megoldásukat mégis későbbre halasztották.

Mindebből az következik, hogy egy anomália rendszerint csak akkor lehet válság kiváltója, ha több, mint pusztán anomália. Mindig akad olyan pont, ahol a paradigma és a természet összehangolása nehézségekkel jár; a legtöbb ilyen nehézség előbb-utóbb megoldódik, mégpedig gyakran előre nem látható

módon. Az a tudós, aki megvizsgált minden anomáliát, amelyet észrevesz, aligha fog jelentős munkát végezni. Így föl kell tennünk a kérdést: mi tesz egy anomáliát érdemessé arra, hogy összehangolt vizsgálódás tárgya legyen; erre a kérdésre valószínűleg nem adható általánosan érvényes válasz. Az eddig megvizsgált esetek jellemzőek ugyan, de aligha tekinthetők kötelező erejű példáknak. Néha egy anomália egyértelműen kérdésessé teszi a paradigma kifejezett és alapvető általánosításait – például az étersodrás problémája így hatott azokra, akik elfogadták Maxwell elméletét. Máskor – mint a kopernikuszi forradalom esetében – egy anomália, bár látszólag nem érinti a paradigma alapjait, mégis válságot idézhet elő, ha akadályozza a paradigma különösen fontos gyakorlati alkalmazásait, ebben az esetben a naptárszerkesztést és az asztrológiát. Az is előfordul – mint a XVIII. századi kémiában –, hogy a normál tudomány fejlődése válság forrásává tesz egy korábban csak kellemetlenséget okozó anomáliát: a levegőkémiai módszerek fejlődése nyomán egészen megváltozott a súlyviszonyok problémájának helyzete. Feltehetőleg vannak más körülmények is, amelyek valamely anomáliát különösen nyomasztóvá tehetnek, és rendszerint több ilyen tényező hat egyszerre. Például a korábbiakból már kiderült, hogy annak a válságnak, amellyel Kopernikusznak kellett szembenéznie, pusztán az volt az egyik forrása, hogy a csillagászok már túl régen próbálkoztak sikertelenül, próbálták eredménytelenül csökkenteni a ptolemaioszi rendszerben fennmaradt egyenetlenségeket.

Amikor ilyen és ehhez hasonló okokból valamely anomália kezd többnek látszani, mint a normál tudomány egyik rejtvényének a sok közül, akkor megkezdődött az átmenet a válság, a rendkívüli kutatások időszakába. Magát az anomáliát mint olyant ekkor kezdi szélesebb körben felismerni a tudományos közösség. A tudományterület legkiválóbbjai közül egyre többen egyre növekvő érdeklődéssel fordulnak feléje. Ha továbbra is ellenáll megoldási kísérleteinek – általában nem így történik –, sok kutató számára ez lesz a téma ezen a tudományterületen. Kezdi másképp látni tudományágukat. E változást részben egyszerűen az okozza, hogy új kérdés került a vizsgálódás középpontjába. Még ennél is fontosabb változást hozó tényező, hogy az összpontosított figyelem számos, az eddigiektől eltérő jellegű rész megoldást tesz lehetővé. A makacsul ellenálló prob-

léma megoldására irányuló kísérletek eleinte valószínűleg meglehetősen szorosan követik a paradigma diktálta szabályokat. Később azonban, amikor a probléma mégsem akar megoldódni, mind több megoldási kísérlet jár együtt a paradigma kisebb-nagyobb módosításával, ezek között nincs két teljesen egyforma változat, részben mindegyik eredményes, de egyik sem elég sikeres ahhoz, hogy a tudományos közösség paradigmaként elfogadja. Miközben így elburjánzanak az elmélet változásai (egyre kevésbé tekintik őket többnek *ad hoc* kiigazításnál), a normál tudomány szabályai fokozatosan elhomályosodnak. Még megvan ugyan a paradigma, de kevés kutató ért teljesen egyet abban, hogy mi az. Még megoldott problémák korábban mérvadónak tekintett megfejtését is kétségbe vonják.

Ha a helyzet kiéleződik, néha az érdekelt tudósok is fölismerik, hogy baj van. Kopernikusz például azon panaszkodik, hogy korának csillagászai oly „következetlenek ezekben a [csillagászati] vizsgálódásokban...”, hogy még az évszakok hosszának állandóságát sem képesek megmagyarázni vagy megfigyelni... Úgy tesznek – folytatja –, mint az a művész, aki alakjainak kezét, lábát, fejét és más testrészeit különböző modellekről veszi, minden egyes részt kitűnően megrajzol, de az egész nem áll össze egyetlen testté, s mivel a részek sehogy sem illenek egymáshoz, az eredmény inkább torzszülött lesz, mint ember.”⁵ Einstein a kor sallangmentesebb nyelvén csak ennyit ír: „Míntha kihúzták volna a talajt a lábam alól. Nem volt szilárd alap, nem volt mire építeni.”⁶ Wolfgang Pauli pedig, néhány hónappal azelőtt, hogy megjelent Heisenbergnek egy új kvantumelmélet kialakulását jelző írása a mátrixmechanikáról, ezt írta egy barátjának: „A fizika pillanatnyilag megint szörnyen zavaros. Nekem mindenestre túl nehéz. Bár lettem volna inkább filmkomikus, vagy valami hasonló, és soha ne is hallottam volna a fizikáról.” Különösen hatásos ez a vallomás, ha szembeállítjuk Pauli nem egészen öt hónappal későbbi szavaival: „A Heisenberg-féle mechanika visszaadta nekem a reményt és az életkedvet. A rejtvényt persze nem oldotta meg, de azt hiszem, most megint lehetséges a haladás.”⁷

Szerfölött ritka a csőd ilyen nyílt beismerése, de a válság hatásai nem pusztán a válság tudatos felismerésétől függenek. Mik a válság hatásai? Úgy tűnik, csak kettő érvényesül mindig. Minden válság úgy kezdődik, hogy elmosódik a paradigma, és

ennek következtében lazulnak a normál kutatás szabályai. Ebből a szempontból a válság idején folyó kutatás igencsak hasonlít a paradigma előtti időszak kutatómunkájára, eltekintve attól, hogy az előbbiben a szabályoktól való eltérések mozgásteret kisebb és pontosabban körülhatárolt. A válságok befejeződésének három módja ismeretes. Néha a normál tudomány végül képes megbirkózni a válságot kiváltó problémával, bár többen kétségbeestek, mert azt hitték, hogy a probléma a fennálló paradigma végét jelenti. Más esetekben még látszólag győrekenen új megközelítéseknek is ellenáll a probléma. Ilyenkor esetleg úgy állapítanak a tudósok, hogy tudományterületük ebben az állapotában a probléma nem oldható meg a közeljövőben. A problémát címkével látják el, és félreteszik egy fejlettebb eszközökkel rendelkező, eljövendő nemzedék számára. Végül van egy harmadik lehetőség, és minket most leginkább ez érdekel: a válság egy új paradigmajelölt megjelenésével és az elfogadása körül folyó küzdelemmel végződik. A válság lezárulásának erről a módjáról részletesen lesz még szó a későbbi fejezetekben, de az ott kifejtendőnek egy kis részét kénytelenek vagyunk előre bocsátani, hogy kiegészítsük a válsághelyzet kialakulására és természetére vonatkozó megjegyzéseinket.

Az átmenet egy válságba került paradigmáról az újra, amelyből azután új tudományos tradíció alakulhat ki, egyáltalán nem egyszerű összegző folyamat, nem érhető el a régi paradigma módosításával vagy kiterjesztésével. A tudományterületet új alaptételekre építik, és eközben megváltozik a tudományterület néhány legelemibb elméleti általánosítása, valamint sok paradigmatiszta módszer és alkalmazás is. Az átmeneti időszakban a régi és az új paradigma szerint megoldható problémák nagyrészt, de sohasem teljesen azonosak. A megoldási módok között azonban döntő különbség van. Amikor az átmenet befejeződik, a szakma már másképp látja a tudományterületet, mások a módszerei, mások a céljai. Egy jó szemű történész, azt vizsgálva, hogy a paradigma megváltozásával miként fordul új irányba egy-egy tudomány, így jellemezte ezt a folyamatot: „a másik végén fogják meg a dolgot”, s ez azzal jár, hogy „ugyanazzal az adathalmazzal dolgoznak, mint azelőtt, de új viszonyrendszerbe helyezik az adatokat, más lesz a tények elrendezése”.⁸ Mások is fölfigyeltek a tudomány fejlődésének erre

a vonására, és fölhívták a figyelmet arra, hogy hasonlít a látási élmény megváltozására: a papíron levő vonalak hol madárnak látszanak, hol meg antilopnak.⁹ Ez a párhuzam azonban félrevezető lehet. Nem másvalaminek látnak valamit a tudósok; egyszerűen látják azt a valamit. Már megvizsgáltunk néhány azáltal keletkezett problémát, hogy azt állítottuk: Priestley az oxigént flogisztontartalmától megfosztott levegőnek látta. Azonkívül a tudósnak, az alaklélektani kísérletek alanyától eltérően, nem áll módjában szabadon átlépni az egyik látásmódból a másikba és vissza. A látási élmény megváltozása – elsősorban azért, mert ma már annyira közismert – mégis jól használható annak elemi szemléltetésére, hogy mi történik teljes paradigmaváltáskor.

Későbbi mondanivalónk egy részének ez az előrebocsátása talán segít megérteni, hogy a válság új elméletek feltűnésének előjátéka, különösképpen azért, mert ugyanennek a folyamatnak a szerényebb változatát már megvizsgáltuk a felfedezések megjelenésének tárgyalásakor. Mivel az új elmélet feltűnése véget vet egy kutatási tradíciónak, és újat honosít meg, amely más szabályokat követ, és amelyet egészen másképp adnak elő, ez valószínűleg csak akkor következik be, ha úgy érzik, hogy a korábbi tradíció menthetetlenül kátyúba jutott. Ez az észrevétel azonban nem több, mint bevezetés a válsághelyzet tanulmányozásába. Ez a munka pedig sajnos olyan kérdésekhez vezet, amelyek még a történész szakértelménél is inkább igénylik a pszichológus tudását. Milyenek a rendkívüli kutatások? Hogyan tehető egy anomália törvénynek tűnő jelenséggé? Mit csinálnak a tudósok, ha csak annyit tudnak, hogy valami alapvetően elromlott, mégpedig egy olyan szinten, amelyre képzésük nem készítette fel őket? E kérdések megválaszolásához további, nem kizárólag történeti jellegű kutatásra van szükség. Így az alábbiakban szükségképpen több lesz a próbaként fölvetett és kevesebb a teljesen végigvitt gondolat, mint az eddig előadottakban. Gyakran már a válság kibontakozása, illetve tudatos felismerése előtt megjelenik, legalábbis embrionális formában, az új paradigma. Lavoisier esete jó példa erre. Amikor lezárt följegyzését letétbe helyezte a Francia Akadémián, még egy év sem telt el azóta, hogy először vizsgálták meg alaposabban a súlyviszonyokat a flogisztonelemben, majd egy év telt el még addig, amíg Priestley publikációi teljes mértékben föltár-

ták a levegőkémia válságát. Vagy egy másik példa: Thomas Young első közleményei a fény hullámelméletéről az optika kezdődő válságának igen korai szakaszában láttak napvilágot, olyan időpontban, amikor a válságot talán nem is vették volna észre, ha Young első közleményei után alig tíz évvel – az ő tevékenységétől függetlenül – nem nő nemzetközi tudományos botrányá. Az ilyen esetekben csak annyit mondhatunk, hogy a paradigma kisebbfajta kudarca és a normál tudományra vonatkozó szabályainak legelső elhomályosodása elegendő volt ahhoz, hogy valakiben a tudományterület új szemléletmódja alakuljon ki. Ami a zavar első észlelése és egy elérhető alternatív megoldás fölismerése között történt, minden bizonnyal nagyrészt nem volt tudatos.

Más esetekben azonban – gondoljunk például Kopernikuszra, Einsteinre vagy a mai atomfizikára – a kudarc tudatosodásának kezdete és az új paradigma feltűnése között tetemes idő telik el. Amikor ilyesmit tapasztal a történész, legalább néhány jelből következtethet arra, hogy milyen a rendkívüli tudományos kutatás. Kétségtől lényeges anomáliával találkozva az elméleten belül, a tudós gyakran először megpróbálja pontosabban körülhatárolni azt, és formát ad neki. Bár tudja már, hogy a normál tudomány szabályai körül nincs minden rendben, még a korábbinál is szigorúbban érvényesíti ezeket a szabályokat, szeretné ugyanis megtudni, hogy a kátyúba jutott területen hol és mennyire működőképesek. Ugyanakkor keresi a csőd felnaggyításának módját, keresi, hogy tehetné feltűnőbbé és esetleg ösztönzőbbé a csődöt, mint amilyen akkor volt, amikor először észrevették olyan kísérletek nyomán, amelyeknek az eredményét előre ismertnek vélték. A tudós munkája éppen ilyenkor hasonlít legjobban közkeletű elképzeléseinkhez, sokkal inkább, mint a tudomány paradigma utáni fejlődése során bármikor. Gyakran találomra kutató embernek látszik leginkább, aki csak azért próbálkozik kísérletekkel, hogy lássa, mi történik, aki olyan jelenséget keres, amelynek a természetét nem is sejteti egészen. Egyidejűleg – mivel semmiféle kísérletet nem lehet elképzelni valamiféle elmélet nélkül – a válsággal küszködő tudós újra meg újra megpróbál spekulatív elméleteket alkotni, amelyek utat nyithatnak egy új paradigma felé, ha sikeresek, és viszonylag könnyen föladhatók, ha sikertelenek.

Kepler beszámol róla, hogy milyen hosszú ideig küzdött a Mars mozgásának problémájával, Priestley pedig leírja, hogyan fogadta az új gázok túlburjánzását. Ez a két eset klasszikus példája az anomália fölismerését követő, rendszertelenebb kutatásnak.¹⁰ Valószínű azonban, hogy a legjobb példákat a mezőelméletben és az elemi részecskékkel kapcsolatban korunkban lezajlott kutatómunkából vehetjük. Igazolhatók volnának-e a neutrínó kimutatására fordított hatalmas erőfeszítések, ha nem lett volna válság, amely szükségessé tette, hogy megtudják, meddig terjeszthetők ki a normál tudomány szabályai? Vagy ha egy rejtett ponton nem buktak volna meg nyilvánvalóan ezek a szabályok, fölvetették vagy kipróbálták volna-e az anyagmegmaradási elv érvénytelenségének radikális hipotézisét? Az elmúlt évtized több más fizikai kutatásához hasonlóan, részben e kísérleteknek is az volt a céljuk, hogy lokalizálják és meghatározzák egy még kusza anomálihalmaz forrását.

Az ilyenféle rendkívüli kutatással sokszor, bár semmi esetre sem mindig, együtt jár egy másik fajta is. Úgy gondolom, a tudósok főleg felismert válságok idején kezdik filozófiai elemzés segítségével feltárni tudományterületük rejtvényeit. A tudósoknak általában nem kellett, és nem is akartak, filozófussá válni. Sőt a normál tudomány rendszerint alighanem indokolatlan tartja távol magát az alkotó filozófiától. Ameddig a normál kutatómunka irányítható a modellként használt paradigma alapján, addig a szabályokat és feltevéseket nem kell nyíltan megfogalmazni. Az V. fejezetben már említettük, hogy a filozófiai elemzés által követelt teljes szabályrendszerre nincs is szükség. Ez azonban korántsem jelenti azt, hogy feltevések (akár nem létező feltevések) keresése nem lehet hatásos módszer a gondolkodáson uralkodó tradíció hatalmának gyengítésére és egy új tradíció kiindulópontjának megtalálására. Nem véletlen, hogy a newtoni fizika megjelenését a XVII. században, éppúgy, mint a relativitáselméletét és a kvantummechanikáét a XX. században, megelőzték és végigkísérték a korabeli kutatási hagyományra irányuló, lényegbevágó filozófiai vizsgálódások.¹¹ Az sem véletlen, hogy mindkét időszakban döntő szerepet játszott a kutatás fejlődésében az úgynevezett gondolatkísérlet. Mint máshol már kimutattam, a Galilei, Einstein, Bohr és mások írásaiban oly fontos helyet betöltő gondolatkísérlet tökéletesen alkalmas a régi paradigma és a meglevő ismeretek szembesíté-

sére, mégpedig úgy, hogy laboratóriumban elérhetetlen mértékben tisztázódik a válság gyökere.¹²

Miközben e különleges eljárásokat külön-külön vagy együttesen alkalmazni kezdik, még valami bekövetkezhet. A válság azáltal, hogy a tudósok figyelmét a zavarforrás szűk területére összpontosítja, és fölkeszíti a tudományos gondolkodást a kísérletek nyomán fölbukkanó anomáliák igazi mivoltának fölismerésére, gyakran szaporítja az új fölfedezéseket. Korábban már megállapítottuk, hogy Lavoisier oxigénnel kapcsolatos munkássága abban különbözött Priestleyétől, hogy Lavoisier tudatában volt a válságnak; és nem az oxigén volt az egyetlen új gáz, amelyet az anomália ismeretében dolgozó kémikusok fölfedezhettek Priestley munkája alapján. Van egy másik példa: közvetlenül a fény hullámelméletének megjelenése előtt és közben gyorsan szaporodtak az új fénytani fölfedezések. Egy részük, például a visszaverődésnél fellépő polarizáció, olyan véletlennek köszönhető, amelynek a bekövetkeztét a zavarforrás területére összpontosított kutatómunka teszi valószínűvé. (Malus akkor jutott erre a felfedezésre, amikor éppen elkezdett a kettős fénytöréssel foglalkozó akadémiai pályamunkáján dolgozni; közismert volt, hogy e téma helyzete nem kielégítő.) Más témák, például a kör alakú lemez árnyékának középpontjában tapasztalható világos folt, az új hipotézisből következő előrejelzések voltak, és elősegítették, hogy a hipotézis a további munka paradigmájává váljon. Megint mások, mint a karcolások mentén a vastag üveglapokon tapasztalt színek, olyan jelenségek voltak, amelyeket korábban is többször láttak és néha fel is jegyeztek, de amelyeket – akárcsak Priestley oxigénjét – besoroltak a jól ismert jelenségek közé, s ez megakadályozta, hogy való természetüknek megfelelően lássák őket.¹³ Hasonlóan jellemezhetnénk a kvantummechanika kialakulását körülbelül 1895-től végigkísérő, sokrétű felfedezéseket.

Bizonyára vannak a rendkívüli kutatásoknak a fentiekén kívül más megnyilvánulási formái és hatásai is, ezen a területen azonban még éppen csak elkezdjük fölfedezni a megválaszolható kérdéseket. De talán most nincs is szükség többre. Ez a néhány megjegyzés is kielégítően megmagyarázza, hogy a válság hogyan lazítja a sztereotípiákat egyrészt, és hogyan biztosítja az alapvető paradigmaváltáshoz nélkülözhetetlen, egyre több tényt másrészt. Néha a rendkívüli kutatás olyan szerkeze-

tet ad az anomáliának, hogy abban már fölfedezhetőek az új paradigma körvonalai. Einstein azt írja, hogy még mielőtt bármivel is helyettesítette volna a klasszikus mechanikát, már megértette három ismert anomália – a fekete test sugárzása, a fotoelektromos hatás és a fajhők – összefüggését.¹⁴ Gyakrabban fordul elő, hogy semmiféle ilyen szerkezetet nem látnak előre tudatosan. Az új paradigma, vagy az ötlet, melyből ki lehet majd bontani a paradigmát, többnyire hirtelen jelenik meg, akár az éjszaka kellős közepén, egy mélyen a válságba merült ember agyában. Ennek a végső szakasznak a lényege – azaz annak a lényege, hogy miként talál ki egy ember tudatosan vagy óvatlanul egy-egy új módszert a már összegyűjtött adatok elrendezésére – itt és talán végleg megfejthetetlen marad. Egy dolgot azonban szeretnénk megjegyezni. Az új paradigma alap gondolatát szinte mindig igen fiatal vagy olyan ember találja ki, aki egészen kezdőnek számít azon a tudományterületen, amelynek paradigmáját megváltoztatja.¹⁵ Ezt talán nem is kell kifejtenuünk, hiszen nyilvánvaló, hogy ezek az emberek, akiket alig kötelez addigi munkájuk a normál tudomány hagyományos szabályainak követésére, különösen érzékenyek rá, ha a szabályok már nem körvonalaznak lejátszható játékot, és így különösen alkalmasak arra, hogy kitaláljanak egy másik, az előző helyébe lépő szabályrendszert.

Az eredmény, az áttérés egy új paradigmára – tudományos forradalom. Végre-valahára eléggé felkészültünk, hogy közvetlenül rátérhessünk erre a témára. Előbb azonban még fölhívjuk a figyelmet egy utolsó, látszólag megfoghatatlan, de az előző három fejezetben előkészített szempontra. Míg a VI. fejezetben be nem vezettük az anomália fogalmát, úgy tűnhetett, hogy a „forradalom” és a „rendkívüli kutatás” egyenértékű fogalmak. S ami még fontosabb, úgy tetszhetett, hogy mindkét kifejezés legföljebb „nem-normál tudományt” jelent; legalább néhány olvasót bizonyára zavart ez a *circulus vitiosus*. Valójában azonban nem kell zavart okoznia. Hamarosan látni fogjuk, hogy hasonló *circulus vitiosus* jellemzi a tudományos elméleteket. Zavaró vagy sem, ez a körben forgó okoskodás már nem tartalmazmatlan. Ebben a fejezetben és az előző kettőben kiderítettük a normál tudományos tevékenység csődjének számos kritériumát, és e kritériumok teljesen függetlenek attól, hogy a csődöt követi-e forradalom. Amikor a tudósok anomáliával vagy vál-

sággal találkoznak, másképp kezdenek viszonyulni a meglévő paradigmákhoz, és ennek megfelelően megváltozik kutatómunkájuk jellege is. Az egymással versengő változatok túlbúrjázása, a hajlandóság bárminek a kipróbálására, a nyílt elégetlenség kinyilvánítása, a filozófia és az alaptételekről folytatott vita segítségének az igénybevétele – mindez a normál kutatásról a rendkívüli kutatásra való átmenet jele. A normál tudomány fogalma inkább e jelek létezésére, mint a forradalmak létre épül.

IX. A TUDOMÁNYOS FORRADALMAK JELLEMZÉSE, SZÜKSÉGSZERŰSÉGE

Az eddig előadottak végre lehetővé teszik, hogy hozzálessünk a tanulmányunk címében jelezett kérdéscsoport vizsgálatához. Hogyan jellemezhetők a tudományos forradalmak, és mi a szerepük a tudomány fejlődésében? A kérdést részben már megválasztottuk az előző fejezetekben. Az eddig elmondottakból annyi mindenképpen kiderült, hogy ebben a tanulmányban tudományos forradalmakon a tudományok fejlődésének azokat a nem kumulatív eseményeit értjük, melyek során valamely paradigma szerepét részben vagy egészen átveszi egy vele összeegyeztethetetlen, új paradigma. A kérdésről azonban ennél többet kell elmondanunk. További mondandónk egy lényeges részét új kérdés megfogalmazásával szeretnénk bevezetni. Milyen alapon nevezzük a paradigmaváltozást forradalomnak? A politikai és a tudományos fejlődés közötti nagy és lényegi különbségek ismeretében milyen hasonlóság indokolja azt, hogy – metaforával élve – mindkét területen forradalmakról beszélünk?

Egy vonatkozásban a párhuzamnak már az eddigiekből is ki kellett tűnnie. A politikai forradalmak úgy kezdődnek, hogy érlelődik – bár sokszor csupán a politikai közösség töredékében – az a fölismerés, hogy a főnálló intézmények már nem képesek kielégítő megoldást adni a részben éppen általuk létrehozott környezet problémáira. A tudományos forradalmak igencsak hasonló módon úgy kezdődnek, hogy érlelődik – bár itt is gyakran csak a tudományos közösség egy kicsiny részében – az a fölismerés, hogy a főnálló paradigma nem szolgálja megfelelően a természet egy területének a feltárását, melyhez pedig éppen ő mutatta meg az utat. A politikai fejlődésben éppúgy, mint a tudomány fejlődésében, a forradalomnak előfeltétele a működési zavar tudatosodása, ami válsághoz vezethet. És bár tudjuk, hogy ezzel túlfeszítjük a metaforát, azt is észre kell vennünk, hogy a párhuzam nemcsak az átfogó paradigmaváltozásokra, például a Kopernikusz vagy Lavoisier nevéhez

fűződőkre érvényes, hanem azokra a sokkal kevésbé jelentőségekre is, melyek során nem történt egyéb, mint hogy fölismertek és az elmélet körébe vontak egy újfajta jelenséget, például a röntgensugarakat vagy az oxigént. Mint ahogy az V. fejezet végén már megjegyeztük, a tudományos forradalmak csak azok számára tűnnek szükségképpen forradalomnak, akiknek a paradigmáját érintik. Kívülállóknak számára a fejlődés szokásos velejárójának tetszhetnek, akár mondjuk a balkáni forradalmak a XX. század elején. A csillagászok például megtehették, hogy a röntgensugarakat ne tekintsék egyébnek új ismeretnél, hiszen paradigmájukat nem érintette az újfajta sugárzás létezése. Kelvin, Crookes és Röntgen számára azonban, akik a sugárzások elméletével, illetve a katódsugárcsővel foglalkoztak, a röntgensugarak megjelenése szükségképpen megszegte tudományterületük paradigmáját, mivel egy másikat hozott létre. Ez az oka annak, hogy a röntgensugarakat csak úgy fedezhették föl, hogy előbb zavar támadt a normál tudományos kutatásban.

Az immár nem kétséges, hogy a politikai és a tudományos fejlődés a maga eredetét tekintve párhuzamba állítható. Párhuzamba állítható azonban egy másik szempontból is, és ez a párhuzam egyrészt mélyebb, mint az előző, másrészt az előbbi párhuzam értelme az utóbbitól függ. A politikai forradalmak olyan módszerekkel igyekeznek megváltoztatni a politikai intézményeket, melyek érvényesítését ugyanezen intézmények akadályozzák. Így tehát csak akkor vezethetnek sikerre, ha a társadalom részlegesen lemond egy sor intézményről, hogy újakat fogadjon el helyettük, és az átmeneti időszakban a társadalom életét egyáltalán nem is vezérlik intézmények. Eleinte csak a válság maga csökkenti a politikai intézmények szerepét, ugyanúgy, ahogy, mint láttuk, eleinte csak a válság csökkenti a paradigmák szerepét. Egyre többen egyre inkább elidegenednek a politikai élettől, és egyre rendhagyóbban viselkednek a politikai életben. Ekkor, a válság elmélyülésével a dolgok addigi rendjéből kiszakadt emberek közül sokan csatlakoznak valamely javaslatához, melynek célja, hogy a társadalmat új intézményrendszer létrehozásával megújítsa. Ezen a ponton a társadalom egymással versengő táborokra vagy pártokra oszlik, az egyik igyekszik megvédeni az intézmények régi rendszerét, a többi új intézményrendszert akar szervezni. Ha pedig a társadalom ily módon polarizálódott, *nincs politikai megoldás*. Mivel

az egymással forradalmi ellentétbe került erők nem egyeznek abban a kérdésben, hogy a politikai változás milyen intézményes keretben menjen végbe, és milyen intézményes értékrend szerint ítélik meg, mivel nem ismernek el semmiféle intézmények fölötti instanciát, mely eldönthetné forradalmi viszályukat, végül kénytelenek a tömeges meggyőzés eszközeihez folyamodni, melyek között gyakran szerepel az erőszak is. Bár a forradalmak igen lényeges szerepet játszottak az intézmények fejlődésében, ezt a szerepet csak annak révén tölthették be, hogy részben politikán, illetve intézményen kívüli események.

E tanulmány hátralevő részében azt igyekszünk megmutatni, hogy a paradigmaváltozások történeti vizsgálata igencsak hasonló vonásokat tár föl a tudományok fejlődésében. Ki fog derülni, hogy az egymással versengő politikai intézmények közötti választás éppúgy, mint az egymással versengő paradigmák közötti választás, azt jelenti, hogy a közösség az együttélés egymással összeegyeztethetetlen módjai között választ. Mivel a választás ilyen, magát a választást szükségképpen nemcsak a normál tudományra jellemző értékelő eljárások határozzák meg, hiszen ezek részben egy sajátos paradigmától függenek, márpedig a vita éppen e paradigma körül folyik. Amikor a paradigmák a dolgok rendje szerint szerephez jutnak a paradigma megválasztása körüli vitában, ez a szerep szükségképpen körkörös okoskodáshoz vezet. Paradigmája védelmében a vitában részt vevő csoportok mindegyike saját paradigmájához folyamodik.

Az így létrejövő logikai kör természetesen nem teszi az érvelést hamissá, sőt még hatástalanná sem. Amikor valaki eleve elfogadja azt a paradigmát, amely mellett érvel, ez nem akadályozza meg abban, hogy világosan bemutassa, milyen lesz azok kutatási gyakorlata, akik elfogadják az új természetszemléletet. Az ilyen bemutatás nagyon meggyőző, sőt olykor kényszerítő erejű lehet. Bármily erős legyen is azonban a körben forgó érvelés, nem lehet több, mint a meggyőzés eszköze. Nem lehet logikailag vagy akár probabilisztikusan kényszerítő érvényű azok számára, akik nem hajlandók belépni a körbe. A paradigmáról vitatkozó két fél előfeltevéseiben és értékeiben ehhez nincs elég közös elem. A politikai forradalmakhoz hasonlóan a paradigma megválasztásakor sincs magasabb szint, mint a szóban forgó közösség jóváhagyása. Így tehát amikor igyekszünk

megtudni, hogyan is mennek végbe a tudományos forradalmak, nemcsak a természet és a logika hatását kell majd megvizsgálnunk, hanem azokat a meggyőző érvelési módszereket is, melyek a tudományos közösséget alkotó, igen speciális csoportokra hatnak.

Ahhoz, hogy beláthassuk, miért nem dönthető el soha egyértelműen a paradigma megválasztása körüli vita pusztán a logika és a kísérletek alapján, röviden meg kell vizsgálnunk azoknak a különbségeknek a lényegét, amelyek valamely hagyományos paradigma híveit elválasztják forradalmi utódaiktól. Ebben a fejezetben és a következőben elsősorban ezzel fogunk foglalkozni. Már az eddigiekben is sok mindent sikerült konkrét példákon keresztül elmondanunk a különbségekről, és nemigen akad, aki kétségbe vonná, hogy a tudománytörténet számos további példával szolgálhat. Sokkal valószínűbb viszont, hogy némelyek nem lesznek hajlandók elfogadni, hogy e példák lényeges felvilágosítást adhatnak a tudomány természetéről. Ezért legelőször is ez utóbbi kérdést kell megvizsgálnunk. Ha történelmi tényként elfogadjuk is, hogy bizonyos tudományos közösségek a fejlődés bizonyos időpontjában elvetik addigi paradigmájukat, mond-e ez a tény egyebet, mint hogy az ember hiszékeny és zavaros lény? A dolog természetéből következik-e, hogy valamely újfajta jelenség vagy új tudományos elmélet elfogadása megkívánja a korábbi paradigma elvetését?

Először is azt kell észrevennünk, hogy ha van is ilyen összefüggés, az nem következik a tudományos ismeretek logikai szerkezetéből. Elvben semmi sem zárja ki annak a lehetőségét, hogy egy új jelenség feltűnése nem gyakorol semmiféle romboló hatást a tudományos kutatás addigi gyakorlatára. Igaz ugyan, hogy ha kiderülne, hogy van élet a Holdon, ez lerombolná ma érvényes paradigmáink egy részét (ezek alapján ugyanis olyan képünk van a Holdról, mely kizárja azt a lehetőséget, hogy ott élet legyen), ha viszont a Tejút valamely kevésbé ismert részén találnának életet, annak nem volna ilyen hatása. Hasonlóképpen az új elméleteknek nem kell szükségszerűen összeütközésbe kerülniük valamely korábbi elmélettel. Megtörténhet, hogy egy új elmélet kizárólag korábban nem ismert jelenségekre vonatkozik; például a kvantumelmélet (igaz, csak elsősorban, nem kizárólag) a XX. század előtt ismeretlen szubatomi jelenségekkel foglalkozik. Arra is van példa, hogy az új elmélet egyszerűen

magasabb szintű, mint a korábban ismertek, hogy egész sor alacsonyabb szintű elméletet kapcsol össze anélkül, hogy bármelyiket is lényegesen megváltoztatná. Ma az energiamegmaradás törvénye éppen ilyen szerepet játszik: kapcsolatot teremt a dinamika, a kémia, a villamosság, az optika, a hőtan és még több más terület között. Elképzelhető a régi és az új elmélet között több más olyan viszony is, melyek mindegyikére az jellemző, hogy a két elmélet összeegyeztethető egymással. Az új jelenségek és elméletek meg a régi elméletek közötti viszony valamennyi felsorolt változatára találhatunk példát a tudományok fejlődésének történeti folyamatában. Ha azonban csak ilyen összefüggések lennének, a tudomány fejlődése valóban kumulatív folyamat lenne. Az újfajta jelenségek egyszerűen rendet teremtenének a természet egy olyan területén, ahol korábban nem volt rend. Így a tudomány fejlődését az jellemeznék, hogy az új ismeret a tudatlanság, nem pedig más, az újjal összeegyeztethetetlen ismeret helyére lép.

Természetesen a tudomány (vagy valamely más, kevésbé hatásos emberi tevékenység) fejlődhetne ezen a teljes egészében kumulatív módon is. Sokan voltak, akik így képzelték a tudomány fejlődését, és úgy tűnik, hogy az emberek többsége ma is azt gondolja, hogy a tudományok története, legalábbis ideális esetben, ilyen kumulatív fejlődési folyamat képét mutatná, ha nem torzították volna el oly gyakran az emberek egyéni sajátosságai. Nem ok nélkül alakult ki ez a vélekedés. A X. fejezetben látni fogjuk, hogy ez a fölfogás, mely a tudomány fejlődését kumulatív folyamatnak látja, milyen erősen összefonódott azzal az uralkodó episztemológiai irányzattal, amely az ismereteket olyan konstrukcióknak tekinti, melyeket közvetlenül a nyers érzéki adatokra épít az értelem. A XI. fejezetben pedig azt fogjuk bemutatni, hogy a tudományok eredményes oktatási módszerei hogyan járulnak hozzá, mégpedig nem is kis mértékben ugyanezen tudománytörténeti séma fönntartásához. Bármily tetszetős is ez az ideális kép, egyre több okunk van kételkedni benne, hogy valóban a *tudományt* ábrázolja. A paradigma előtti korszakot követően ugyanis minden új elmélet elfogadása és szinte minden újfajta jelenség befogadása valójában megkívánta a korábbi paradigma lerombolását, és így a különböző, egymással versengő tudományos iskolák összeütközését. Az előre nem sejtett, új ismeretek egyszerű hozzáadódása a régiekhez

csak szinte nem is létező kivétel lehet a szabály alól a tudomány fejlődésében. Ha komolyan vesszük a történeti tényeket, elkerülhetetlenül fölmerül bennünk a gyanú: hátha a tudomány működése nem is igazodik ahhoz az ideális sémához, melyet a tudományfejlődés kumulatív képe alapján feltételeztünk. Hát-ha egészen más a tudományos tevékenység természete?

Mert, hogy a közkeletű elképzelések és a tények összevetéséből ennyit már sikerült megtudnunk, az eddig előadottakat újra áttekintve fölmerülhet bennünk: talán nemcsak hogy valóban ritka az új ismeretek kumulatív felhalmozódása, hanem elvi okokból is valószínűtlen? A normál tudomány, mely valóban kumulatív, sikerét annak köszönheti, hogy a tudósok képesek következetesen olyan problémákat választani, melyek a már meglévőhöz hasonló fogalmi apparátussal és eszközkészlettel megoldhatók. (Ez a magyarázata annak, hogy gyakran fékezi a tudomány fejlődését, ha túlzott figyelmet fordítanak bizonyos, a tudomány alkalmazása szempontjából fontos problémákra, anélkül hogy számításba vennék, hogyan viszonyulnak azok a meglévő ismeretekhez és a rendelkezésre álló eszközökhöz.) Nem szabad azt hinnünk, hogy a tudós keresését nem irányítja semmi, amikor a meglévő ismeretek és a rendelkezésre álló eszközök alapján kiválasztott probléma megoldásán munkálkodik. Tudja, mit akar elérni, ennek megfelelően dolgozza ki eszközeit és irányítja gondolatait. Előre nem látott új ismeret, új felfedezés csak annyiban születhet, amennyiben a tudósnak a természetre és eszközeire vonatkozó várakozásai hamisnak bizonyulnak. A felfedezés súlya gyakran arányban lesz a létrejöttét előre jelző anomália nagyságával, valamint azzal, hogy mennyi erőfeszítésre volt szükség az anomália kiküszöböléséhez. Nyilvánvaló, hogy ilyen esetekben szükségképpen összeütközésbe kerül egymással az a paradigma, amelyen belül az anomália jelentkezett, és az, amelyben azután az anomália „törvényes” tényé válik. A VI. fejezetben bemutatunk néhány esetet, amikor a felfedezés az addigi paradigma lerombolása által jött létre: az, amit ott láttunk, több volt történelmi esetlegességnél. Valójában ez a fölfedezések létrejöttének egyetlen hatékony módja.

A most elmondottak még világosabban érvényesülnek új elméletek létrehozásának esetében. Elvileg összesen három jelenségtípus van, mely alkalmat adhat új elmélet létrehozására. Az

első típust az érvényben levő paradigmák által már kellően megmagyarázott jelenségek alkotják: ezek csak néha adnak elegendő ösztönzést, illetve megfelelő kiindulópontot az elméletalkotáshoz. Ha mégis új elmélet forrásává válnak, ahogy ezt a VII. fejezet végén bemutatott három híres anticipáció esetében láttuk, a létrejövő elmélet ritkán talál kedvező fogadtatásra, ugyanis a természet nem ad semmiféle támpontot az elméletek megkülönböztetéséhez. A második csoportba azok a jelenségek tartoznak, melyek mibenlétéről az érvényben levő paradigmák kellő felvilágosítást adnak ugyan, de részleteiket csak az elmélet további kifejtése útján lehet megérteni. A tudósok kutatómunkájának legnagyobb részét ilyen jelenségek vizsgálata tölti ki, de e kutatások célja inkább a meglévő paradigmák továbbfejlesztése, nem pedig újak létrehozása. Csak ha ezek a továbbfejlesztést célzó próbálkozások kudarcot vallanak, fordulnak a tudósok az itt alkalmazott felosztás harmadik típusába tartozó jelenségek felé: hozzálátnak az elismert anomáliák vizsgálatához, melyeket az jellemez, hogy makacsul ellenállnak minden kísérletnek, mely az érvényben levő paradigmák valamelyikébe igyekszik illeszteni őket. Csak az e típusba tartozó jelenségek lehetnek új elmélet forrásai. A paradigmák a tudósok látókörébe eső minden jelenség elméletileg meghatározott helyét kijelölik, kivéve az anomáliáikat.

Ha tehát az új elmélet azért jön létre, hogy megszüntesse az eddig elfogadott elmélet és a természet között mutatkozó anomáliát, akkor a sikeres új elméletnek bizonyos pontokon más előrejelzéseket kell adnia, mint amilyenek az előző elméletből következtek. Ha a két elmélet logikailag összeegyeztethető volna egymással, ez nem volna lehetséges. Az új elmélet elfogadása kiszorítja a régi elméletet. Még az energiamegmaradás elve is, amely ma olyan logikai felépítménynek tűnik, mely csak tőle függetlenül létrehozott elméletek közbejöttével kapcsolódik a természethez, sem jöhetett létre másképp, mint egy korábbi paradigma lerombolása által. A válságban, melynek az energiamegmaradás elve a maga létrejöttét köszönheti, lényeges szerepet játszott az, hogy kiderült: a kalorikus hőelmélet bizonyos, újabban megfogalmazott következményei összeegyeztethetetlenek a newtoni dinamikával. Az energiamegmaradás elve csak akkor nyerhetett polgárjogot a tudományban, amikor már föladták a kalorikus elméletet.¹ És csak akkor kezdtek logikailag

magasabb szintű elméletnek tekinteni, mely nem áll ellentmondásban a korábbi elméletekkel, amikor már egy ideje a tudomány szerves részeként működött. Kérdéses, hogy elképzelhető-e egyáltalán új elmélet létrejötte anélkül, hogy ilyen, a természetre vonatkozó korábbi vélekedések egy részét szétzúzó változások történnének. Semmi sem zárja ki ugyan azt a lehetőséget, hogy a későbbi elmélet logikailag magában foglalja a korábbi, a történelmi tényanyag alapján azonban ez nemigen látszik valószínűnek.

Úgy vélem, egy évszázaddal ezelőtt még megtehettük volna, hogy ezzel le is zárjuk a tudományos forradalmak szükségszerűségének vizsgálatát. Ma azonban, sajnos, nem így áll a dolog, ugyanis a tudományos forradalmakról itt előadott felfogásunk nem tartható, ha elfogadjuk a tudományos elméletek mibenlétének és szerepének legelterjedtebb jelenkori értelmezését. Ez az értelmezés, mely szorosan kapcsolódik a korai logikai pozitivizmushoz, és a későbbi tudományelméletek sem vetették el kategorikusan, úgy korlátozná az elfogadott elméletek érvényességi körét és jelentését, hogy semmiképpen se kerülhessenek összeütközésbe valamely később kialakult elmélettel, amely részben ugyanazon természeti jelenségeket érintő előrejelzéseket ad. A legismertebb és a legerősebb érv a tudományos elmélet e leszűkített fogalma mellett a modern einsteini dinamika és a Newton *Principiájából* eredő, korábbi dinamikai egyenletek közötti viszonyról folyó vitából bontakozik ki. Az itt képviselt álláspont szerint e két elmélet alapjait tekintve összeegyeztethetetlen, nagyjából olyan viszonyban állnak egymással, mint a kopernikuszi csillagászat Ptolemaiosz rendszerével: Einstein elméletét csak akkor fogadhatjuk el, ha elismerjük, hogy Newton tévedett. Ma csak egy kisebbség van ezen a véleményen.² Ezért meg kell vizsgálnunk az e nézet ellen felhozott legelterjedtebb éveket.

Az ellenvetések lényege a következőképpen foglalható össze. A relativisztikus dinamika nem cáfolhatta meg a newtoni dinamikát, hiszen ez utóbbit teljes sikerrel használja a mérnökök többsége, sőt bizonyos speciális esetekben még sok fizikus is. A korábbi elmélet használatának jogosultsága pedig éppen azon elmélet alapján igazolható, amely más alkalmazások esetében a helyére lépett. Einstein elméletének segítségével ki lehet mutatni, hogy Newton egyenleteiből mérőműszereinktől telhetően

pontos előrejelzések adódnak az elmélet minden olyan alkalmazása esetén, amely eleget tesz néhány megszorító feltételnek. Például a newtoni elmélet akkor ad jó közelítést, ha a vizsgált testek relatív sebessége a fénysebességhez képest kicsi. Ha ez a feltétel és még néhány hasonló teljesül, akkor – úgy tűnik – Einstein elméletéből, annak speciális eseteként, levezethető Newton elmélete is.

Csakhogy, folytatódik az ellenvetés, lehetetlen, hogy egy elmélet ellentmondjon valamelyik speciális esetének. Az einsteini elmélet csak azért látszik cáfolni a newtoni dinamikát, mert Newton néhány követője nem járt el kellő körültekintéssel azt állítván, hogy a newtoni elmélet teljesen pontos eredményeket ad, illetve azt, hogy igen nagy relatív sebességeknél is érvényes. Mivel semmiféle bizonyítékuk nem lehetett állításaikra, megszüntették a tudomány normáit, amikor ilyen kijelentéseket tettek. Amennyiben elfogadjuk, hogy Newton elmélete valaha is érvényes bizonyítékon alapuló, valóban tudományos elmélet volt, akkor azt is el kell fogadnunk, hogy ma is az. Einstein csak az elmélet bizonyos túlfeszített – valójában sohasem igazán tudományos – értelmezéseiről bizonyíthatta be, hogy tévesek. Ha megtisztítjuk Newton elméletét ezektől a merőben egyéni túlzásoktól, akkor az elméletet nem lehet és sohasem is lehetett kétségbe vonni.

Ilyenféle érveléssel bármilyen elméletet támadhatatlanná tehetnénk, amelyet elég sok képzett tudós valaha is sikerrel használt. Például az oly sokat becsmérelt flogisztonelmélet segítségével sikerült rendet teremteni egy egész sor fizikai és kémiai jelenség területén. Megmagyarázta, miért égnek az éghető anyagok: sok flogiszton van bennünk; és arra is magyarázatot adott, miért rendelkeznek a fémek sokkal több közös tulajdonsággal, mint ércek. E felfogás szerint minden fém különböző, flogisztonnal kevert elemi főldekből áll, és a minden fémbe jelen levő flogiszton hozza létre a közös tulajdonságokat. Ráadásul a flogisztonelmélet megmagyarázott jó néhány olyan reakciót is, melynek során szén, kén és más hasonló anyagok égésekor savak keletkeznek. Arra is magyarázatot adott ez az elmélet, hogy a zárt térben folyó égés miért jár térfogatcsökkenéssel: az égéskor fölszabaduló flogiszton „elrontja” az őt elnyelő levegő rugalmasságát, ugyanúgy, ahogy a tűz „elrontja” az acélrugó rugalmasságát.³ Ha a flogisztonelmélet követői csak

ezekre a jelenségekre tartották volna érvényesnek elméletüket, akkor azt sohasem lehetett volna kétségbe vonni. Hasonló érveléssel módunk volna megvédeni bármely elméletet, melyet valaha is sikerrel alkalmaztak valamely jelenségcsoportra.

Csakhogy valójában csak akkor lehet így megvédeni az egyes elméleteket, ha alkalmazásuk körét olyan jelenségekre és olyan pontosságú megfigyelésekre korlátozzuk, amelyekkel már a rendelkezésre álló kísérleti bizonyítás is foglalkozik.⁴ Ha ezt a megszorítást egy lépéssel továbbvisszük (márpedig aligha lehet elkerülni ezt a lépést, ha az elsőt már megtettük), akkor azt is ki kell mondanunk, hogy a tudósoknak nem szabad „tudományos” igényű kijelentést tenniük semmiféle, még meg nem figyelt jelenségekről. E megszorításból már jelenlegi formájában is az következik, hogy a tudósnak saját kutatásai közben nem szabad az addig követett elméletre támaszkodnia, ha a kutatás olyan területre lép, vagy olyan pontosságra törekszik, melyre az elmélet korábbi alkalmazásaiban nincsen precedens. Az ilyen tilalmak logikailag nem kifogásolhatók. Elfogadásuk azonban a tudományt előrelendítő kutatás végét jelentené.

Az eddig elmondottak alapján tulajdonképpen ez az állítás is tautológia. Kötelező érvényű paradigma elfogadása nélkül nem lehetséges normál tudomány. A paradigma érvényességének olyan területekre és olyan pontosságú leírásokra is ki kell terjednie, amelyekre nincs teljes értékű precedens. Másképp a paradigma nem adhatna még megoldatlan rejtvényeket. Azt is észre kell vennünk, hogy nemcsak a normál tudománynak elengedhetetlen feltétele egy paradigma követése. Ha a meglevő elmélet csak már a meglevő alkalmazása tekintetében kötelezné a tudósokat, akkor nem érhetnék őket meglepetések, nem jelentkezhetnének anomáliák és válságok. Csakhogy valójában éppen ezek mutatják meg, milyen irányban érdemes rendkívüli kutatásokat indítani. Ha szó szerinti értelemben alkalmazzák ezeket a pozitivistikus megszorításokat, melyek a tudományos elméletek jogos alkalmazhatóságának körét hivatottak meghatározni, akkor kikapcsolják azokat a mechanizmusokat, melyek kijelölik a tudományos közösség számára azokat a problémákat, melyek alapvető változást hozhatnak. És amikor valóban ez történik, akkor a tudományos közösség helyzete szükségképpen igencsak hasonlít megint a paradigma előtti állapothoz: mindenki műveli a tudományt, tevékenységük tiszta eredmé-

nye azonban aligha nevezhető tudománynak. Ha ezt belátjuk, van-e okunk csodálkozni azon, hogy a tudomány érdemleges előrelépésének ára a tévedés kockázatának vállalása?

És ami még ennél is fontosabb, a pozitivistá érvelésben árulkodó logikai hézagot találunk, mely rögtön visszavezet a forradalmi változás lényegéhez. Valóban levezethető a newtoni dinamika a relativisztikus dinamikából? Hogyan festene egy ilyen levezetés? Vegyünk egy $E_1, E_2 \dots E_n$ állításhalmazt, mely együttesen a relativitáselmélet törvényeit fejezi ki. Ezek az állítások a térbeli helyzetet, az időt, a nyugalmi tömeget stb. jelölő változókat és paramétereket tartalmazznak. Logikai és matematikai eszközökkel egész sor további állítás vezethető le belőlük, ezek egy része megfigyelés útján ellenőrizhető. Ahhoz, hogy bebizonyíthassuk: a newtoni dinamika az így kapott elmélet speciális esete, az E_i -ket további állításokkal kell kiegészítenünk – például ki kell mondanunk, hogy $(v/c)^2 < 1$ –, vagyis korlátoznunk kell a paraméterek és a változók tartományát. Az így kibővített állításhalmazból azután újabb műveletekkel levezethető egy $N_1, N_2 \dots N_n$ halmaz, mely formailag azonos Newton mozgástörvényeivel, gravitációs törvényeivel stb. Látszólag sikerült néhány korlátozó feltétel bevezetésével levezetnünk az einsteini dinamikából a newtoni dinamikát.

Csak hogy valójában téves a levezetés, legalábbis a következő vonatkozásban. Az igaz ugyan, hogy az N_i -k a relativisztikus mechanika speciális esetei, de nem azonosak Newton törvényeivel, illetve legfeljebb e törvények olyan új értelmezésével tehetők azonosossá, amely lehetetlen lett volna Einstein előtt. Azok a változók és paraméterek, amelyek az Einstein-féle E_i -kben a térbeli helyzetet, időt, a tömeget stb. jelölték, még szerepelnek az N_i -kben is, és ezekben is az einsteini teret, időt és tömeget jelölik. Csak hogy az így kapott einsteini fogalmaknak semmi esetre sem ugyanazok a fizikai valóságok felelnek meg, mint a hasonló nevet viselő newtoni fogalmaknak. (Newton szerint a tömeg megmarad; Einstein szerint átváltozhat energiává. Csak kicsiny relatív sebességeknél mérhető a kettő ugyanazon a módon, és ekkor sem jelenti szükségképpen ugyanazt.) A levezetett állítások csak akkor lennének newtoni állítások, ha másképp definiálnánk az N_i -ben szereplő változókat. Ha pedig megváltoztatjuk ezeket a definíciókat, nincs jogunk azt állítani, hogy *levezettük* Newton törvényeit, hacsak nem használjuk a

jelenleg általánosan elfogadottól gyökeresen eltérő értelemben a „levezetés” fogalmát. Azt persze sikerült megmagyaráznunk, miért tűnhettek Newton törvényei valaha is érvényesnek. Megindokoltuk, miért jár el helyesen, mondjuk, a gépkocsivezető, amikor úgy viselkedik, mintha newtoni világban élne. Hasonló indoklással tanítanak geocentrikus csillagászatot a földmérőknek. Csak hogy mindezzel még mindig nem bizonyítottuk be azt, amire a bizonyítást szántuk: nem sikerült kimutatnunk, hogy Newton törvényei Einstein törvényeinek határesetei. Ugyanis a határátmenetnél nemcsak a törvények formája változott meg, meg kellett változtatnunk a törvények által leírt univerzum strukturális alapelemeit is.

Einstein elméletének mindenekelőtt azért lehetett forradalmi hatása, mert a most bemutatott módon szükségessé tette bizonyos bevett és megszokott fogalmak jelentésének megváltoztatását. Bár a tudomány fogalomrendszerének így végbement átalakulása nehezebben megfogható, mint a geocentrikus világról a heliocentrikus világré, a flogisztionról az oxigénre vagy a részecskeszemléletről a hullámszemléletre való áttérés, hatása nem volt kisebb emezekénél: a korábban érvényes paradigma alapokig ható lerombolásával járt. Sőt lehet, hogy a továbbiakban kiderül majd: ez a tudományok forradalmi irányváltásának alaptípusa. Éppen mivel nem járt új dolgok vagy fogalmak bevezetésével, szolgálhat a newtoni mechanikáról az einsteini mechanikára való áttérés különösen világos példaként arra, hogy a tudományos forradalom azt jelenti, hogy kicserélődik a fogalomhálózat, melyen keresztül a tudósok a világot szemlélik.

Azzal, amit most elmondottunk, talán sikerült kellőképpen érzékeltetnünk, mi mindent tekinthetnénk magától értetődőnek, ha más volna a filozófiai közhangulat. A tudósok legalábbis valós különbségként érzékelik az elvetett régi és a helyére lépő új elmélet között tapasztalható eltérések zömét. Igaz ugyan, hogy bármikor megtehetjük, hogy az érvényét veszített elméletet az új elmélet speciális esetének tekintjük, de ehhez a régi elméletet át kell alakítanunk. Mégpedig olyan átalakításra van szükség, amely él az utólagos bölcsességben rejlő előnyökkel, és az újabb elmélet határozott irányítását követi. És még ha jogos eszköz volna is ilyen átalakítást alkalmazni a régi elmélet értelmezésére, az átalakítás nem adhat egyebet, mint olyan leszűkí-

tett elméletet, amely nem több, mint már meglevő ismeretek újrafogalmazása. Gazdaságossága révén az ilyen újrafogalmazás hasznos lehet ugyan, de ahhoz nem elegendő, hogy irányt mutasson a kutatásnak.

Ezzel tekintsük magától értetődőnek, hogy az egymást követő paradigmák szükségszerűen különböznek egymástól, és e különbségek kibékíthetetlenek. Megmondhatjuk-e világosabban, hogy ezek miféle különbségek? A legfeltűnőbb típust már több példán is megfigyelhettük. Az egymást követő paradigmák szerint más-más elemek alkotják a mindenséget, és ezek az elemek másképp viselkednek. Más nézetet fejeznek ki olyan kérdésekben: léteznek-e az atomnál kisebb részecskék; anyagi természetű-e a fény; konzerválódik-e a hő és az energia? Ilyen anyagi különbségek mutatkoznak az egymást követő paradigmák között, s megértésükhöz nincs is szükség további példákra. Csakhogy a paradigmák nemcsak anyagi vonatkozásban különböznek egymástól, ugyanis csak egyik oldalukkal fordulnak a természet felé, másik oldalukon azonban az a tudomány áll, mely létrehozta őket. A paradigmákból fakadnak az érett tudományos közösség által egy adott pillanatban elfogadott módszerek, problémakörök és a megoldásokkal szemben támasztott kívánalmak. Így egy új paradigma elfogadása gyakran megkívánja, hogy a megfelelő tudományt is újra definiálják. Néhány régi problémát más tudományba helyezhetnek át, vagy teljes egészében „tudománytalannak” nyilváníthatnak. Más, korábban nem létező vagy jelentéktelen problémák a kiemelkedő tudományos teljesítmény alaptípusává válhatnak az új paradigma hatására. És a problémákkal gyakran együtt változik annak a mértéke, hogy mit tekintenek igazi tudományos megoldásnak, mit pusztá metafizikai spekulációnak, szójátéknak vagy matematikai játszadozásnak. A tudományos forradalomból kialakuló normál tudományos tradíció nemcsak összeegyeztethetetlen, hanem sok esetben egyenest összemérhetetlen azzal a tradícióval, amelynek a helyére lép.

A paradigmaváltás e finomabb hatásaira kitűnő példa Newton munkásságának hatása a XVII. század normál tudományos gyakorlatára. Newton születése előtt az évszázad „új tudományának” végre sikerült szakítania a jelenségek arisztotelai és skolasztikus magyarázataival, amelyek az anyagi testek esszenciáira épültek. Azt az állítást, hogy a kő azért esik le, mert

„természete” a világ középpontja felé hajtja, kezdték pusztá tautologikus szójátéknak tekinteni, bár korábban másképp fogták föl. Ettől fogva a közönséges anyag elemi részecskéinek nagysága, alakja, helyzete és mozgása alapján kellett magyarázni az összes érzéki tulajdonságot, így a színt, az ízt, sőt még a súlyt is. Aki az elemi atomokat egyéb tulajdonságokkal ruházta föl, az okkult, ezért tudományon kívüli eszközökhöz folyamodott. Molière kifejezte az új szellemet, amikor egy orvost nevetéséssé tesz, mert az ópiumnak mint altatószernek a hatását azzal magyarázza, hogy altató ereje van. A XVII. század második felében sok tudós inkább azt mondta, hogy az ópiumrészecskéket gömbölyű alakjuk teszi képessé arra, hogy elernyessék az idegeket, melyeken ide-oda mozognak.⁵

Korábban az okkult tulajdonságokon alapuló magyarázatoknak szerves funkciójuk volt az eredményes tudományos munkában. Amikor azonban a XVII. században a tudósok elfogadták és kötelező érvényűvé tették a jelenségek mechanikus-korpuszkuláris magyarázatát, egy egész sor tudomány vált eredményesebbé, megszabadulva az általánosan elfogadott megoldási módszerekkel dacoló problémáktól, s más problémákkal váltva föl őket. Például Newton három dinamikai mozgástörvénye nem is annyira új kísérleteknek köszönhető, hanem inkább annak, hogy jól ismert megfigyeléseket igyekeztek újraértelmezni elemi semleges részecskék mozgásai és kölcsönhatásai alapján. Vegyünk egyetlen konkrét példát! Mivel semleges részecskék csak akkor hathatnak egymásra, ha érintkeznek, a mechanikus-korpuszkuláris szemlélet teljesen új tudományos kutatási témára irányította a figyelmet: elkezdték vizsgálni, hogyan módosul a szemcsék mozgása ütközések következtében. Descartes fogalmazta meg a problémát, és tőle származik első helyesnek vélt megoldása is. Huyghens, Wren és Wallis részben összeütköző ingasúlyokkal kísérletezve, főleg azonban a mozgás korábban is jól ismert jellemzőit az új problémára alkalmazva fejlesztette tovább a kérdést. Eredményeiket aztán Newton beépítette mozgástörvényeibe. A harmadik törvényben szereplő egyenlő „hatás” és „ellenhatás” nem más, mint a két test összeütközésekor a mozgásmennyiségben bekövetkező változás. Ugyanezen mozgásmennyiség-változáson alapul a dinamikus erőnek a második törvényben hallgatólágoosan benne foglaltatott definíciója. Ebben az esetben és a XVII. század fo-

lyamán még sokszor a korpuszkuális paradigma szülte nemcsak az új problémát, hanem jórészt a probléma megoldását is.⁶

Newton munkássága jobbra olyan problémákra irányult, és olyan normákat valósít meg, amelyek a mechanikus-korpuszkuális világbépből származnak ugyan, a munkásságából fakadó paradigma azonban további, részben romboló hatással volt a tudomány szerint indokolt problémákra és normákra. A bármely két anyagrészecské között fellépő természetes vonzóerőként értelmezett gravitáció éppolyan okkult minőség volt, mint annak idején a skolasztika „esési hajlama”. Ezért mindaddig, amíg érvényben maradt a korpuszkuális szemlélet, azoknak, akik a *Principiát* mint paradigmát elfogadták, egyik legcsábítóbb feladata a gravitáció mechanikai magyarázatának kutatása volt. Newton maga is sokat foglalkozott ezzel a kérdéssel, majd a XVIII. században számos követője próbált megoldást találni rá. Az egyetlen lehetőségnek az látszott, hogy elvetik Newton elméletét, mivel nem képes megmagyarázni a gravitációt, és sokan ezt is tették. Végül azonban e nézetek közül egyik sem győzött. Mivel a kutatók nem tudtak a *Principia* nélkül dolgozni, de arra is képtelenek voltak, hogy munkájukat a XVII. század korpuszkuális normáihoz igazítsák, lassacskán elfogadták azt a nézetet, hogy a gravitáció valóban eleve adott tulajdonság. A XVIII. század közepén már szinte általánosan elfogadott volt ez az értelmezés, következménye pedig nyílt visszatérés (ami nem ugyanaz, mint a visszafejlődés) volt egy skolasztikus modellhez. A természetes vonzásokat és taszításokat mint az anyag fizikailag tovább nem egyszerűsíthető elsődleges tulajdonságait összekapcsolták a nagysággal, az alakkal, a helyzettel és a mozgással.⁷

Ebből szükségszerűen következett, hogy megváltoztak a fizika normái és problémaköre. Például az 1740-es években az elektromos jelenségek kutatói már beszélhettek a villamos fluidum vonzó „tulajdonságáról” anélkül, hogy ezzel nevetségessé váltak volna, mint Molière doktora száz évvel azelőtt. Ezáltal az elektromos jelenségek lassanként új módon rendeződtek el, és ez a rend igencsak különbözött a régebben feltételezettől, amikor is olyan mechanikus effluvium hatásának tekintették őket, amely csak érintkezéskor hathat. Különösen pedig amikor az elektromos távolhatás önálló vizsgálat tárgyává vált, a ma indukált feltöltődésnek nevezett jelenséget e távolhatás egyik

következményének lehetett fölfogni. Korábban, ha egyáltalán észrevették ezt a jelenséget, az elektromos „atmoszférák” közvetlen hatásának vagy a minden villamosságtani kísérletben elkerülhetetlen áramvesztésnek tulajdonították. Az induktív hatások új szemlélete volt a leydeni palack franklini elemzésének és így azután a villamosságtan új, newtoni paradigmájának a nyitja. És nem is csak a dinamikát és a villamosságot érintette, hogy szabályos kutatási feladattá vált az anyag belső természetes erőinek keresése. A kémiai affinitásra és a szubsztitúciós sorokra vonatkozó bőséges XVIII. századi irodalom is a newtoni elméletnek ebből a mechanikán túlmutató jellegéből fakad. Azok a kémikusok, akik hittek abban, hogy a különböző kémiai anyagok között ilyen különböző vonzóerők lépnek fel, korábban elképzelhetetlen kísérleteket indítottak el, és újfajta reakciók után kutattak. Az e módszerrel szerzett adatok és az így kialakított kémiai fogalmak nélkül érthetetlen volna Lavoisier és még inkább Dalton későbbi munkássága.⁸ Az elfogadható problémákat, fogalmakat és magyarázatokat szabályozó normák változásai átalakíthatnak egy egész tudományt. A következő fejezetben még azt a föltevést is megkockáztatom, hogy bizonyos értelemben átalakítják a világot.

Bármely tudomány fejlődésének szinte minden szakaszából kiragadhatók más példák is arra, hogy az egymást követő paradigmák között vannak ilyen nem lényeges különbségek. Most elégedjünk meg két jóval rövidebb, további illusztrációval! A kémiai forradalom előtt a kémia egyik elismert feladata volt, hogy megmagyarázza a kémiai anyagok tulajdonságait és e tulajdonságoknak a kémiai reakciók során bekövetkező változásait. A kémikusnak néhány kezdetleges „alapelem” segítségével – ilyen volt a flogiszton is – meg kellett magyaráznia, hogy egyes anyagok miért savasak, mások miért fémesek vagy éghetőek stb. Ez a munka nem is volt eredménytelen. Már említettük, hogy a flogiszton érthetővé tette, miért van a fémeknek oly sok közös tulajdonságuk, és hasonló indoklást fejthettünk volna ki a savakra vonatkozóan is. Végül azonban Lavoisier reformja végzett a kémiai „alapelemekkel”, s így megfosztotta a kémiát néhány tényleges és sok rejtett magyarázat lehetőségétől. E veszteség ellensúlyozásaként meg kellett változtatni a normákat. Szinte az egész XIX. századi kémiáról elmondható, hogy nem vetett rossz fényt

egy elméletre, ha nem tudta megmagyarázni a vegyületek tulajdonságait.⁹

Vagy íme, még egy példa: Clerk Maxwell, a fény hullámelméletének más XIX. századi védelmezőjéhez hasonlóan, biztos volt benne, hogy a fényhullámok valamiféle anyagi éterben terjednek. Legkiválóbb kortársai közül sok tekintette állandó feladatának ilyen hullámokat közvetítő mechanikai közeg kigondolását. Saját elmélete azonban, a fény elektromágneses elmélete, nem számolt a fényhullámokat hordozni képes közeggel, sőt nyilvánvalóan még meg is nehezítette ennek feltételezését. Kezdetben éppen ezért a többség elutasította Maxwell elméletét. Csakhogy, éppen úgy, mint Newton elmélete, Maxwellé is szinte nélkülözhetetlennek bizonyult, és amikor paradigmává emelkedett, megváltozott a tudományos közösség magatartása vele szemben. A XX. század első évtizedeiben már egyre inkább színlelésnek tartották Maxwell ragaszkodását a mechanikus éter létezéséhez – pedig biztosan nem az volt –, és fölthagytak az éterikus közeg kigondolására irányuló próbálkozásokkal. Immár nem tekintették tudománytalannak, hogy elektromos „eltolásról” beszéljenek anélkül, hogy pontosan meghatároznák, mi is az, ami elmozdul. Az eredmény ebben az esetben is egy sor új probléma és norma volt, amelyek végül is nagymértékben hozzájárultak a relativitáselmélet létrejöttéhez.¹⁰

Tanulmányunk központi tételének szempontjából nem volnának ilyen fontosak ezek a jellegzetes szemléletváltozások, melyek után a tudományos közösségek mást tekintenek jogos problémának és jogos megoldási módnak, mint annak előtte, ha feltételezhetnénk, hogy a váltások mindig azt is jelentik, hogy a tudomány módszereit tekintve előrelép. Ha így volna, úgy tűnhetne, hogy a váltások hatásai is összeadódnak. Nem csoda, hogy egyes történészek szerint a tudományok története azt mutatja, hogy az ember egyre érettebben és pontosabban látja a tudomány természetét.¹¹ Csakhogy még a tudományos elméletek kumulatív felfogásánál is nehezebben védhető az az álláspont, amely a tudományos problémáknak és normáknak a fejlődését tekinti kumulatív folyamatnak. Bár a XVIII. században a tudósok többségének a munkájára kedvezően hatott, hogy fölthagytak a gravitáció megmagyarázására irányuló próbálkozásokkal, ez nem teszi a problémát önmagában jogosulatlaná: az eleve adott természetes erővel szembeni ellenvetések nem

voltak sem eleve tudománytalanok, sem pedig a szó pejoratív értelmében metafizikaiak. Nincs olyan külső mérce, amelynek alapján így ítélnénk. Az, ami történt, nem jelentette sem a normák leszállítását, sem felemelését, hanem egyszerűen az új paradigma elfogadása szükségessé tette a megváltozásukat. Egyébként a változás azóta fordítva is végbement, és ez újból megtörténhet. A XX. században Einsteinnek sikerült magyarázatot találnia a tömegvonzásra, és ezzel a tudomány olyan szabályokhoz és problémákhoz tért vissza, amelyek – legalábbis az itt tárgyalt vonatkozásban – közelebb állnak Newton elődeinek, mint követőinek szabályaihoz és problémáihoz. Vagy vegyünk egy másik példát: a kvantummechanika fejlődése megfordította azt a módszertani tilalmat, amely a kémiai forradalom idején jött létre. Ma a kémikusok igyekeznek, mégpedig nem is kis sikerrel, megmagyarázni a kísérleteiknél fölhasznált és létrejövő anyagok színét, halmazállapotát és más tulajdonságait. Lehetséges, hogy hasonló fordulat zajlik jelenleg az elektromágneses elméletben. A mai fizikában a tér immár nem tehetetlen és homogén szubsztancia, mint Newton és Maxwell elméletében volt; új tulajdonságainak némelyike hasonló azokhoz, amelyeket valaha az éternek tulajdonítottak. Egy napon talán azt is megtudjuk, hogy mi is az elektromos eltolás.

A most bemutatott példánkban a hangsúly eltolódott a paradigmák kognitív szerepétől normatív funkciójuk felé, és ezáltal jobban megérthetjük, miként alakítják a paradigmák a tudományos életet. Korábban a paradigmákkal elsősorban mint a tudományos elméletek hordozóival foglalkoztunk. Ebben a szerepben úgy működnek, hogy megmutatják a tudósoknak, hogy milyen entitásokat tartalmaz a természet, és milyeneket nem, és hogy miként viselkednek ezek az entitások. Ez a tájékoztatás térképet eredményez, a térkép részleteit azonban az érett tudományos kutatás tisztázza. Mivel pedig a természet túl bonyolult és változatos ahhoz, hogy vaktában kutassuk, a tudomány fejlődése számára a térkép éppoly nélkülözhetetlen, mint a megfigyelés vagy a kísérlet. Az általuk megtestesített elméletek révén a paradigmák lényeges szerephez jutnak a kutatómunkában. Csakhogy más szempontból is alkotóelemei a tudománynak, és minket most éppen ez az összefüggés érdekel. Az imént látott példák ugyanis azt mutatják, hogy a paradigmák nemcsak

térképet adnak a tudós kezébe, hanem útmutatást is nyújtanak a térképkészítéshez. A paradigma elsajátításával együtt a tudós az elméletre, módszerre és normákra is szert tesz; ezek általában felbonthatatlan egységet alkotnak. Ezzel magyarázható, hogy amikor a paradigma megváltozik, rendszerint vele együtt lényegesen megváltoznak azok a kritériumok is, melyek alapján eldöntik a problémák és a javasolt megoldások jogosultságát.

Ezzel az észrevétellel visszatérünk oda, ahonnan e fejezet elején elindultunk: ez az első határozott utalás arra, hogy miért vetődnek föl az egymással versengő paradigmák közötti választáskor szükségképpen olyan kérdések, amelyeket a normál tudomány kritériumai alapján nem lehet megválaszolni. Amennyiben (jelentős mértékben, de nem teljesen) két tudományos iskola különbözik abban a kérdésben, hogy egyáltalán mit tekintenek problémának és megoldásnak, szükségképpen a süketek párbeszédét folytatják, amikor egymás paradigmájának egymáshoz viszonyított értékét vitatják. A részben többnyire körben forgó érvelésbe torkolló vita mindkét paradigmáról kimutatja majd, hogy többé-kevésbé eleget tesz a maga szabta kritériumoknak, és nem elégít ki néhányat az ellenfél által megszabott kritériumok közül. Más okai is vannak, hogy szinte sohasem tökéletes a logikai kapcsolat a paradigma körüli vitákban. Például mivel egyetlen paradigma sem old meg minden általa leírt problémát, és mivel nincs két paradigma, amelyik ugyanazokat a problémákat hagyná megoldatlanul, a paradigma körüli viták mindig magukban foglalják a kérdést: mely problémák megoldása fontosabb? Mint az egymással versengő normarendszerek vitája, az értékek kérdése is csak olyan kritériumok alapján dönthető el, amelyek teljesen kívül esnek a normál tudományon, s éppen ez – külső kritériumok igénybevétele – teszi a paradigmák körüli vitákat a legnyilvánvalóbban forradalmivá. Kockán forog azonban még valami, ami a normáknál és értékeknél is fontosabb. Eddig csak azt igyekeztem bebizonyítani, hogy a paradigmák a tudomány lényeges alkotóelemei. A következőkben azt szeretném megmutatni, hogy bizonyos értelemben a természetnek is lényeges alkotóelemei.

X. A FORRADALMAK MINT A VILÁGSZEMLELET VÁLTOZÁSAI

Amikor a tudománytörténész a jelenkori történetírás nézőpontjából tekinti át letűnt korok kutatásainak krónikáját, kíséretbe esik, hogy felkiáltson: a paradigmák változásával maga a világ is megváltozik. Új paradigmát követve, a tudósok új eszközöket alkalmaznak, és új területeket vesznek szemügyre. Még fontosabb, hogy forradalmak idején a tudósok új és más dolgokat látnak meg, mint azelőtt, noha megszokott eszközeiket használják ismert területeken. Mintha a szakmai közösség egyszer csak átkerült volna egy másik bolygóra, ahol az ismerős tárgyak más megvilágítást kapnak, és ismeretlenekkel együtt jelennek meg. Persze semmi ilyesmi nem történik: nincs semmiféle földrajzi áttelepülés, a mindennapi ügyek a laboratóriumon kívül rendszerint ugyanúgy folynak tovább, mint azelőtt. A paradigmaváltozás mégis arra készíteti a tudósokat, hogy másképp lássák kutatási kötelezettségeik világát. Amennyiben e világot csak ismereteiken és cselekedeteiken keresztül tudják megközelíteni, joggal mondhatjuk, hogy a forradalom után egy másik világ hat rájuk, és erre a másik világra reagálnak.

A látási élmény hirtelen megváltozásának jól ismert példái szemléletes elemi modelljét adhatják annak, ami a tudós világának átalakulásakor történik. Amik a forradalom előtt kacsák voltak a tudós világban, azok utána nyulak. Aki előbb a doboz külsejét látta felülről, később a belsejét látja alulról. Hasonló, bár fokozatosabb és majdnem mindig megfordíthatatlan átalakulások rendszeres velejárói a tudományos képzésnek. Egy szintvonalas térképet nézve a diák csak vonalakat lát a papíron, a térképész viszont egy terep rajzát. Egy buborékkamra fényképét nézve a diák zavaros és egyenetlen vonalakat lát, a fizikus pedig ismerős, szubnukleáris események történetét. A tudósjeleltnek jó néhányszor át kell esnie ilyen látásmódváltozásokon, míg a tudósok világának polgára lesz: immár azt látja, amit a tudósok látnak, úgy reagál, ahogy a tudósok reagálnak. A vilá-

got azonban, amelybe a tudósjelölt ily módon bebocsátást nyer, nem határozza meg egyszer s mindenkorra a tudomány környezetének, illetve a tudománynak a természete. Inkább együttesen a környezet és az a sajátos normál tudományos tradíció, melynek követésére nevelték a diákokat, határozza meg ezt a világot. Ennek megfelelően forradalmi átalakulás idején, amikor megváltozik a normál tudományos tradíció, a tudósnak meg kell tanulnia új módon felfogni környezetét, azaz meg kell tanulnia bizonyos jól ismert helyzetekben új alakot látni. Ha ezt megteszi, tudományának világa összemérhetetlennek látszik majd azzal, amelyben azelőtt mozgott. Íme, újabb magyarázatot találtunk arra, hogy az eltérő paradigmákhoz igazodó tudományos iskolák egy kicsit mindig más malomban örölnek.

Az alaklélektani kísérletek legismertebb formái természetesen csak az érzékelésben bekövetkező átalakulások természetét szemléltetik. Nem tudhatunk meg belőlük semmit arról, hogy milyen szerepet játszanak a paradigmák vagy a korábban szerzett tapasztalatok az érzékelés folyamatában. Ezzel a kérdéssel azonban bőséges pszichológiai irodalom foglalkozik, jó részük a Hanover Institute úttörő kutatásainak az eredménye. Amikor a kísérleti alany fordítólencsés szemüveget vesz föl, először fejfelé lefelé állónak látja a világot. Látószerve eleinte úgy működik, ahogyan megszokta, mielőtt feltette volna a szemüveget, s az eredmény nagyfokú heves lelki válság. Ahogy pedig kezdi kiismerni magát új világában, látótere átfordul; ezt általában megelőzi egy átmeneti időszak, amikor egyszerűen zavarosan lát. Az átfordulás után megint úgy látja a dolgokat, mint mielőtt feltette a szemüveget. Az eleinte rendellenes látótér feldolgozása visszahat, és megváltoztatja magát a teret.¹ A szó szoros értelmében, és képletesen is, forradalmi fordulat történt a kísérleti alany látásában, mikor hozzászokott a fordítólencséhez.

Hasonló fordulatot éltek át a VI. fejezetben bemutatott kártyakísérlet alanyai. Mindaddig, amíg a meghosszabbított bemutatás révén meg nem tanulták, hogy vannak a világon rendellenes kártyák is, csak olyanfajta kártyákat láttak, melyek észlelésére előző tapasztalataik felkészítették őket. Amint azonban személyes tapasztalataik nyomán elsajátították a szükséges kiegészítő fogalmakat, képesek lettek első látásra fölismerni minden rendellenes kártyát, ha legalább annyi ideig látták őket, amennyi egyáltalán bármilyen azonosítást lehetővé tesz. Más

kísérletek is bizonyítják, hogy a bemutatott tárgyak méretének, színének stb. felismerése függ a kísérleti alany korábbi gyakorlatától és tapasztalatától.² Ha áttekintjük azt a gazdag kísérleti eredményeken alapuló irodalmat, amelyből e példákat merítettük, fölmerül az a gyanú, hogy magának az érzékelésnek is előfeltétele valami paradigmaféle. Hogy mit lát az ember, függ attól is, amit néz, és attól is, hogy korábbi vizuális-fogalmi tapasztalatai minek a meglátására tanították meg. Ilyen felkészülés nélkül, William James szavaival élve, csak „nyomorult, zszibongó zürzavart” látnánk.

Az utóbbi években a tudománytörténettel foglalkozók közül többen megállapították, hogy az ilyenfajta kísérletek roppant gondolatébresztők. Főleg N. R. Hanson használt föl alaklélektani kísérleteket a tudományos meggyőződésre vonatkozó, itt is említett következtetések előkészítésére.³ Más kutatók is nem egyszer megjegyezték, hogy a tudomány történetét és e folyamat összefüggéseit érthetőbbé tenné, ha föltételezhetnők, hogy néha a tudósok is átéltek a fent leírtakhoz hasonló percepcióváltásokat. Bár gondolatébresztőek a pszichológiai kísérletek, a dolog természeténél fogva nem lehetnek többek ennél. Fölfedik ugyan az érzékelésnek azokat a jellegzetességeit, amelyek a legfontosabbak lehetnének a tudomány fejlődésében, de azt nem bizonyítják be, hogy e jellegzetességek valóban érvényesek a kutató tudós gondos és ellenőrzött megfigyeléseire is. Azonkívül e kísérletek jellege lehetetlenné is teszi ennek bármilyen közvetlen bizonyítását. Ha a történeti anyag relevánsnak mutatná a pszichológiai kísérleteket, akkor legelőször is azt kellene tisztáznunk, hogy erre milyen bizonyítékokat várhatunk a tudománytörténettől, és milyeneket nem.

Az alaklélektani kísérlet alanya tudja, hogy észlelése megváltozott, hiszen ez mindkét irányban többször megisméltődhet, amíg ugyanazt a könyvet vagy papírlapot tartja a kezében. Mivel tudatában van annak, hogy környezetében semmi sem változott, már nem annyira az ábrára (a kacsára vagy a nyúlra) figyel, mint inkább a papiroson látható vonalakra. Végül talán megtanulja, hogy egyik ábrát se lássa, csak a vonalakat, és akkor elmondhatja – mindeddig ezt nem tehette volna jogosan –, hogy valójában ezeket a vonalakat látja, de hol kacsának, hol nyúlnek látja őket. A rendellenes kártyákkal végzett kísérlet alanya ugyan ezen az alapon azért tudja azt (illetve, pontosabban, azért

győzhető meg arról), hogy észlelése változott, mert egy külső tekintély, a kísérletvezető biztosítja róla, hogy bármit látott is, végig egy fekete kör ötöst nézett. Mindkét esetben, mint az összes hasonló pszichológiai kísérleteknél, attól függ a bizonyítás hatásossága, hogy elemezhető-e ilyen módon. Ha nem létezne külső mérce, melynek alapján kimutatható a látási élmény megváltozása, semmiféle következtetést nem lehetne levonni a változó észlelési lehetőségekre vonatkozóan.

A tudományos megfigyelésnél azonban éppen fordított a helyzet. A tudós nem támaszkodhat egyébre, mint arra, amit a szemével és a műszereivel érzékel. Ha létezne valamiféle magasabb tekintély, amelynek segítségével kimutatható volna látási élményének megváltozása, akkor maga ez a tekintély adatainak forrásává, látási élményének viselkedése pedig problémák forrásává válhatna (ahogy a kísérleti alany látási élményének viselkedése vizsgálendő probléma a pszichológus számára). Hasonló problémák merülnének fel, ha a tudós oda-vissza válhatna, mint az alaklélektani kísérletek alánya. Abban az időben, amikor a fény „hol hullám, hol részecske” volt, a tudomány válságot élt át – valami nem volt rendjén –, és e válság csak akkor ért véget, amikor kialakult a hullámmechanika, és rájöttek, hogy a fény önálló, csak önmagával azonos entitás, éppúgy különbözik a hullámoktól, mint a részecskéktől. Így tehát a tudományokban, ha a paradigmaváltozások együtt járnak is észlelés-változásokkal, nem várhatjuk, hogy a tudósok azonnal tanújelét adják e változásoknak. A kopernikuszi szemlélet új híve a Holdat nézve nem mondja ezt: „Azelőtt bolygót láttam, most pedig egy holdat.” Ez a kifejezésmód azt jelentené, hogy a ptolemaioszi rendszer valaha helyes volt. Az új csillagászat híve inkább így fogalmaz: „Régen bolygónak tekintettem (vagy láttam) a Holdat, de tévedtem.” Ilyesféle megfogalmazással nemegyszer találkozunk tudományos forradalmak utóhatásaként. Bár ez rendszerint a tudomány szemléletváltását vagy a gondolkodás ezzel egyenértékű, más átalakulását leplezi, nem várhatjuk a váltás közvetlen bevallását. A tudósok tevékenységében kell keresnünk annak közvetett bizonyítékát, hogy az új paradigma új látásmódot is jelent.

Térjünk vissza a tényekhez, és vizsgáljuk meg, milyen átalakulásokat fedezhet fel a tudós világában a történész, aki hisz az ilyen változásokban. Első példaként bemutatjuk, hogyan fedez-

te föl Sir William Herschel az Uránuszt. Ez a példa jól összehasonlítható a rendellenes kártyával végzett kísérlettel. 1690 és 1781 között számos csillagász, köztük Európa legjobb megfigyelői, legalább tizenkét alkalommal észleltek csillagot olyan helyeken, amelyeket mai föltételezésünk szerint akkor az Uránusznak kellett elfoglalnia. E csillagászok közül az egyik legjobb megfigyelő 1769-ben négy, egymást követő éjszakán látta a csillagot anélkül, hogy észrevette volna elmozdulását, pedig ez azonosítást sugallhatott volna. Herschel tizenkét év múlva saját készítésű, sokkal tökéletesebb távcsővel kezdte meg az égitest megfigyelését. Sikerült is észrevennie, hogy látszólag korong alakú, ami csillagoknál legalábbis szokatlan. Világos volt, hogy valami baj van, ezért további, alapos vizsgálatról tette függővé az azonosítást. Ezek a vizsgálatok feltárták, hogy az Uránusz mozog a csillagok között. Herschel tehát bejelentette, hogy új üstököszt talált! Csak több hónappal később, miután hiába próbálták a megfigyelt mozgást valamiféle üstököspályához idomítani, vetette föl Lexell azt a gondolatot, hogy az égitest valószínűleg bolygópályán mozog.⁴ Amikor elfogadták ezt a föltevést, a hivatásos csillagászok világa néhány csillaggal szegényebb és egy bolygóval gazdagabb lett. Egy majdnem száz éven keresztül újra meg újra megfigyelt égitestet 1781 után másképp láttak, mert – a szabálytalan kártyalaphoz hasonlóan – nem lehetett többé besorolni az addig érvényes paradigma szolgáltatta észlelési kategóriák (csillag vagy üstökös) valamelyikébe.

Úgy látszik, hogy az a szemléletváltás, mely képessé tette a csillagászokat, hogy észrevegyék az Uránuszt, a bolygót, nemcsak e korábban megfigyelt égitest észlelését érintette. Következményei szélesebb körűek voltak. Valószínű, ha nem is bizonyítható egyértelműen, hogy a Herschel által előidézett csekély paradigmaváltozás is hozzájárult ahhoz, hogy a csillagászoknak 1801 után gyors egymásutánban sikerült fölfedezniük egy sor kisebb bolygót, azaz aszteroidát. Kis méretük következtében nem látszottak korong alakúnak, ami annak idején fölkeltette Herschel figyelmét. A csillagászok azonban – mivel fölkészültek további bolygók felfedezésére – a XIX. század első felében a szabványos eszközökkel húsz új bolygót tudtak azonosítani.⁵ A csillagászat történetében sokszor előfordult, hogy paradigmaváltozás változtatta meg a tudományos észlelést, és az ilyen

esetek némelyike még félreérthetlenebb. Tekinthesük-e például véletlennek, hogy az európai csillagászok éppen a kopernikuszi új paradigma jelentkezése utáni fél évszázadban tapasztaltak először változást az addig változhatatlannak vélt égbolton? A kínaiak, akiknek a kozmológiai elképzelései nem zárták ki eleve az égi változást, sokkal korábban följegyezték számos új csillag megjelenését. Nem használtak távcsövet, mégis rendszeresen beszámoltak a napfolttevékenységről, méghozzá több száz évvel korábban, mint Galilei és kortársai.⁶ Nem kizárólag a napfoltok és egy új csillag jelentett változást az európai csillagászat égboltján közvetlenül Kopernikusz után. A XVI. század végén több csillagász is fölfedezte hagyományos eszközökkel – némelyik olyan egyszerű volt, mint egy szál fonál –, hogy üstökösök kószálnak szabadon az űrben ott, ahol korábban csak a változhatatlan bolygóknak és csillagoknak volt helyük.⁷ Az a tökéletes könnyedség és gyorsaság, amellyel a csillagászok régi objektumokat régi eszközökkel vizsgálva új dolgokat vettek észre, annak kimondására készíthet, hogy Kopernikusz után egy másik világban éltek. Kutatómunkájuk alapján mindenesetre ezt gondolhatjuk.

Eddigi példáinkat a csillagászatból merítettük, mert a csillagászati megfigyelésekről szóló beszámolók gyakran a viszonylag tiszta megfigyelések nyelvén íródnak. Csak ezek a beszámolók nyújthatnak némi reményt arra, hogy teljes hasonlóságot találunk a tudósnak és a pszichológiai kísérlet alanyának a megfigyelései között. Csakhogy nem kell ilyen teljes hasonlósághoz ragaszkodnunk, sőt rendkívül hasznos, ha enyhítjük szigorunkat. Ha beérhetjük a „látni” ige köznapi használatával, akkor hamar észrevehetjük, hogy a paradigma megváltozásával együtt járó tudományos percepcióváltással már eddig is több ízben találkoztunk. Az „észlelés” és a „látás” fogalmának kiterjesztett használata rövidesen határozott védelemre szorul, először azonban gyakorlati alkalmazását szemléltetjük.

Térjünk vissza egy pillanatra a villamosságban történetéből merített két példánkra! A XVII. században a villamosságban kutatói, akik az effluviumentelméletek valamelyikének alapján dolgoztak, többször tapasztalták, hogy elektromosan töltött testek először magukhoz vonzzák a törekszemcséket, majd azok visszapattannak, illetve leesnek róluk. Legalábbis így számoltak be a XVII. századbeli megfigyelők tapasztalataikról, és nincs

több okunk kételkedni észleléseikről szóló beszámolóikban, mint a sajátjainkban. Ugyanazokkal a kísérleti eszközökkel dolgozva, a jelenkori megfigyelő elektrosztatikus taszítást látna, nem pedig mechanikus vagy a gravitációs visszapattanást, de a tudománytörténetből tudjuk, hogy – egyetlen, teljességgel észrevétlenül maradt kivételtől eltekintve – az elektrosztatikus taszítást mint olyat csak akkor vették észre, amikor Hauksbee nagyméretű készüléke sokszorosán felnagyítva mutatta ki hatásait. Az érintkezés útján történő feltöltődés utáni taszítás csupán egyike volt a Hauksbee által kimutatott számos új taszítási jelenségnek. Az ő kutatásai nyomán az alaklélektanból ismert szemléletváltozáshoz igencsak hasonló módon egyszerre a taszítás lett a villamos feltöltődésnek az alapmegnyilvánulása, és most a vonzás szorult magyarázatra.⁸ A XVIII. század elejének kutatói finomabb és változatosabb elektromos jelenségeket láttak, mint XVII. századi elődeik. Vagy egy másik példa: miután elfogadták Franklin paradigmáját, a leydeni palackot vizsgálva valami mást láttak a kutatók, mint azelőtt. A berendezés kondenzátorrá vált, nem kellett palack formájúnak lennie, és nem volt szükség hozzá üvegre sem. A két, jól vezető bevonat lett fontos, noha egyiket nem is tartalmazta az eredeti eszköz. Az írásos beszámolók és a képi ábrázolások egyaránt azt tanúsítják, hogy fokozatosan olyan berendezés vált a leydeni palack alaptípusává, amely két fémlapból áll, köztük szigetelő réteggel.⁹ Ezzel egyidejűleg más indukciós jelenségekre új leírást találtak, megint másokat pedig ekkor figyeltek meg először.

Nemcsak a csillagászatban és a villamosságban találkozhatunk ilyen váltásokkal. Már említettünk néhány példát a szemléletmód hasonló átalakulására a kémia történetéből. Azt mondtuk, hogy Lavoisier oxigént látott ott, ahol Priestley flogiszton-tartalmától megfosztott levegőt látott, mások pedig egyáltalán semmit. Csakhogy Lavoisier-nek ahhoz, hogy lássa az oxigént, meg kellett tanulnia másképp látni sok más, jobban ismert anyagot. Például összetett ércet kellett látnia ott, ahol Priestley és kortársai elemi földet láttak, és nem ez volt az egyetlen ilyen változás. Lavoisier az oxigén felfedezésének következményeképpen legalábbis másként látta a természetet. Mivel pedig nem tudjuk, hogy milyen a Lavoisier által „másként látott”, változatlanak gondolható természet, a gazdaságosság elvét követve azt kell mondanunk, hogy az oxigén felfedezése után Lavoisier egy másik világban dolgozott.

Azonnal rátérünk arra a kérdésre, hogy el lehet-e kerülni e furcsa kifejezésmódot, de előbb még egy példát kell hoznunk alkalmazására. E példánkat Galilei munkásságának legismeretesebb részéből merítjük. A legrégebbi időktől kezdve sokan tapasztalták, hogy a kötélre vagy láncre függesztett nehéz test ide-oda leng, míg végül nyugalomba kerül. Az arisztotelianusok szerint, akik azt hitték, hogy a súlyos testet természete hajtja a magasabb helyről az alacsonyabb felé, ahol természetesen nyugalmi állapotba kerül, a lengő test mozgása egyszerűen akadályozott esés. Mivel a lánc visszatartja, csak kerülő mozgással és elég hosszú idő után jut nyugalomba a legalsó ponton. Galilei viszont a lengő testet szemlélve ingát látott, azaz olyan testet, amelynek majdnem sikerült ugyanazt a mozgást számtalanszor ismételnie a végtelenségig. Es ha már ennyi mindent észrevett, megfigyelte az inga egyéb tulajdonságait is, és új dinamikájának legjelentősebb és legeredetibb részei közül jó néhányat éppen e tulajdonságokra épített. Például az inga tulajdonságaiból vezette le Galilei kimerítő és cáfolhatatlan érveit amellelt, hogy a súly és az esés sebessége független egymástól, sőt a lejtőn lefelé mozgó test végsebessége és a lejtő magassága közti összefüggést is ezekre a tulajdonságokra alapozta.¹⁰ Mindezeket a természeti jelenségeket másképp látta, mint elődei.

Minek köszönhető ez a szemléletváltás? Természetesen mindenekelőtt Galilei zsenialitásának. Észre kell azonban vennünk, hogy Galilei zsenialitása itt nem abban nyilvánult meg, hogy pontosabban vagy elfogulatlanabban figyelte meg a lengő testet. A leírást tekintve, az arisztotelianus észlelés éppen ilyen pontos volt. Amikor pedig Galilei azt állította, hogy 90° -os amplitúdóig az inga lengésideje független az amplitúdótól, akkor az ingáról kialakult felfogása alapján sokkal nagyobb szabályosságot látott, mint amelyet mi ma föl tudunk fedezni.¹¹ Némiképp úgy tűnik, hogy Galilei zsenialitása abban rejlett, hogy kiaknázza a középkori paradigmaváltás következtében megnyíló észlelési lehetőségeket. Galilei nem nevelkedett teljesen arisztotelianus szellemben. Ellenkezőleg, felkészítették arra is, hogy a mozgásokat az impetuselmélet alapján elemezze; e késő középkori paradigma szerint egy súlyos test folyamatos mozgása olyan belső erőnek tulajdonítható, amelyet az őt mozgásba hozó test helyezett bele. Két XIV. századi skolasztikus, Jean Buridan és Nicole Oresme dolgozta ki az impetuselmélet legtökéletesebb

formáját, ők voltak az elsők, akikről tudjuk, hogy észrevették egy részét annak, amit Galilei megfigyelt a rezgőmozgásban. Buridan úgy írja le a rezgő húr mozgását, hogy akkor helyeződik bele először az impetus, amikor megpendítik a húrt; felemésződik, miközben elmozdítja a húrt, feszülésének ellenállását leküzdve; majd a feszülés – egyre növelve az impetust – visszaviszi a húrt, amíg el nem éri a mozgás felezőpontját; ezután az impetus az ellentétes irányban mozdítja el a húrt, ismét legyőzve a feszítőerő ellenállását, és így tovább, a szimmetrikus folyamat a végtelenségig folytatódhat. Később, de még ugyanabban a században, Oresme hasonlóan elemzi a lengő kő mozgását; ezt ma az ingamozgás első leírásának tekinthetjük.¹² Szemlélete nyilvánvalóan igen közel áll ahhoz, amellyel Galilei először megközelítette az inga problémáját. Oresme számára bizonyosan, és minden valószínűség szerint Galilei számára is, az tette lehetővé ezt a szemléletet, hogy a mozgás arisztotelianus paradigmájáról áttértek a skolasztikus impetusparadigmára. Míg ki nem alakították ezt a skolasztikus paradigmát, a tudósok szemében nem voltak ingák, hanem csak lengő kövek. Az ingát valami olyasmi hozta létre, ami nagyon hasonlít a paradigmaváltozás által kiváltott szemléletváltáshoz.

Mindezek után a látás átalakulásának kell minősítenünk azt, ami Galileit Arisztotelésztől, illetve Lavoisier-t Priestleytől elválasztja. Valóban mást *láttak*, amikor ugyanazt *nézték*? Van-e jogunk azt állítani, hogy bizonyos értelemben különböző világokban folytatták kutatásaikat? Immár nem halaszthatjuk tovább e kérdések tisztázását, mert az imént bemutatott történelmi példák nyilvánvalóan mind leírhatók másképp, sokkal megszokottabb módon is. Bizonyára sok olvasónk úgy gondolja, hogy a paradigma megváltozásakor csak annyi történik, hogy a tudós másként értelmez bizonyos megfigyeléseket, magukat a megfigyeléseket azonban egyszer s mindenkorra meghatározza a környezetnek és érzékszerveinek a természete. E felfogás szerint Priestley is, Lavoisier is oxigént látott, csak éppen másképp értelmezték megfigyeléseiket; Arisztotelész is, Galilei is ingát látott, csak másként értelmezték azt, amit mindketten láttak.

Mindjárt ki kell jelentenem, hogy sem teljesen hamis, sem egyszerű tévedés nem lehet ez a közkeletű vélemény arról, hogy mi történik, amikor alapkérdésekben változik meg a tudósok

gondolkodása. Ez a nézet lényeges része a Descartes által kezdeményezett és a newtoni dinamikával egy időben kibontakozott filozófiai paradigmának. Ez a paradigma jól szolgálta mind a tudományt, mind a filozófiát. Kiaknázása, akárcsak a dinamikaé, olyan alapvető felismerésre vezetett, amely máskülönben elérhetetlen lett volna. Csakhogy, amint ezt a newtoni dinamika példája is mutatja, még a leglátványosabb múltbeli siker sem nyújthat semmiféle biztosítékot arra, hogy a válság a végtelenségig halogatható. A mai filozófiai, pszichológiai, nyelvészeti, sőt még a művészettörténeti kutatások is egyöntetűen arra valóznak, hogy a hagyományos paradigma valahogy már nem működik megfelelően. És a tudománytörténet is – hiszen figyelmünk most szükségképpen elsősorban erre irányul – egyre nyilvánvalóbbá teszi, hogy ez a paradigma alkalmatlanná vált feladatának betöltésére.

Bár e válságot jelző tudományok egyike sem hozott még létre semmi olyasmit, ami felhasználható volna a hagyományos ismeretelméleti paradigma pótlására, már igenis sejtetik az új paradigma néhány jellegzetességét. Én magam például pontosan tudom, hogy miféle nehézségek támadnak, ha azt állítjuk, hogy a lengő követ nézve Arisztotelész akadályozott esést, Galilei pedig ingát látott. Ugyanezeket a nehézségeket még súlyosabb formában veti föl e fejezet első tétele: bár a világ nem változik meg, a paradigma megváltozásával a tudós azután egy másik világban dolgozik. Ennek ellenére biztos vagyok benne, hogy meg kell tanulnunk értelmezni olyan állításokat, amelyek legalábbis hasonlítanak a fentiekre. Azt, ami a tudományos forradalom során végbemegy, nem lehet teljes egészében különálló, változatlan adatok újraértelmezésére egyszerűsíten. Először is, az adatok nem egyértelműen változatlanok. Az inga nem eső kő, az oxigén nem flogisztontartalmától megfosztott levegő. Következésképpen a különféle dolgokról összegyűjtött adatok maguk is különfélék lesznek, mint ahogy ezt rövidesen meglátjuk. És ami még fontosabb, az a folyamat, melynek során az egyén vagy a közösség áttér az akadályozott esésről az ingára vagy a flogisztontartalmától megfosztott levegőről az oxigénre, aligha tekinthető értelmezésnek. Nem csoda, hiszen nincsenek állandó adatok, melyeket a tudós valamiként értelmezhetne. Az új paradigmát magáévá tevő tudós valójában nem is értelmező; inkább egy fordítólencsés szemüveget viselő emberhez hason-

lít. A tárgyakkal ugyanazzal a halmazával áll szemben, mint azelőtt, és ennek tudatában is van, a tárgyak sok részletét mégis teljesen másnak találja.

Mindezzel nem akarjuk azt állítani, hogy a tudósok tevékenységének jellegzetes formája nem az, hogy megfigyeléseket és adatokat értelmeznek. Ellenkezőleg, Galilei ingán, Arisztotelész eső köveken, Musschenbroek elektromossággal feltöltött palackon, Franklin pedig kondenzátoron végzett megfigyeléseket értelmezett. Csakhogy ezek az értelmezések mind feltételezték a maguk paradigmáját, részei voltak a normál tudománynak, amely, mint láttuk, arra törekszik, hogy finomítson, kiterjesszen, továbbfejlesszen egy már meglévő paradigmát. A III. fejezetben számos olyan esettel találkozhattunk, melyben az értelmezés központi szerepet játszott. Ezek az esetek jól példázák, mi is történik a tudományos kutatások túlnyomó többségében. Mindegyikre jellemző, hogy a tudós az elfogadott paradigma alapján tudja, mit tekintsen adatnak, milyen eszközöket használhat az adatok feltárására és rögzítésére, és mely fogalmak relevánsak az adatok értelmezéséhez. Az adott paradigmában rejlő lehetőségek kiaknázása során döntő szerep jut az adatok értelmezésének.

Mindazonáltal – s ez volt a magva az utolsó előtti bekezdésben elmondottaknak – ez az értelmezőtevékenység csak a paradigma teljesebb kifejtésére képes, helyesbítésre nem. A paradigmákat a normál tudomány egyáltalán nem helyesbíti. A normál tudomány eredménye végül is legfeljebb annyi lehet – mint már láttuk –, hogy felismerik az anomáliákat és a válságokat. Ezeknek pedig nem a fontolgatás, az értelmezés vet véget, hanem viszonylag gyors és strukturálatlan esemény, amely hasonlít az alaklélektanból ismert szemléletváltáshoz. A tudósok ilyenkor gyakran arról beszélnek, hogy „lehullott a hályog a szemükről”, vagy „villámfény árasztja el” az addig homályos rejtvényt, olyan új megvilágításba helyezve alkotórészeit, hogy végre lehetővé válik a megoldása. Máskor álmában éri a megvilágosodás a tudóst.¹³ Az „értelmezés” kifejezés semmilyen közkeletű jelentése nem illik erre a villámcsapásszerű intuíción, amelynek révén új paradigma születik. Bár az ilyen intuitív felismerések a régi paradigmán belül szerzett, részben anomáliát jelző, részben a paradigmának megfelelő tapasztalatokra épülnek, de nem logikailag vagy egyenként kapcsolódnak a tapasztalatok

egy részleteihez, ahogy értelmezésnél várnók. Ehelyett az intuitív felismerések összpontosítják a tapasztalatok nagy részét, és az egyes elemeket egészen már tapasztalathalmazzá alakítják át, amely azután majd apránként az új paradigmához kapcsolódik, nem pedig a régihez.

Hogy jobban megértsük, mit is jelent a tapasztalatoknak ez a másféle szerepe, egy pillanatra térjünk vissza Arisztotelészhez, Galileihez és az ingához! A két eltérő paradigma és azonos környezetük kölcsönhatása milyen adatokat tettek hozzáférhetővé Arisztotelész, és milyeneket Galilei számára? Akadályozott esést látva, az arisztotelianus megmérte (vagy legalábbis megvitatta, hiszen az arisztotelianus ritkán mért) a kő súlyát, azt, hogy függőleges irányban milyen magasra emelték föl előzőleg, valamint a nyugalomba jutásához szükséges időt. Az arisztotelianus tudomány az esés tárgyalásakor ezeket a fogalmi kategóriákat alkalmazta, kiegészítve őket még a közegellenállással.¹⁴ E kategória-rendszerben normál tudományos munka sohasem juthatott volna el a Galilei által felfedezett törvényekhez. Nem vezethetett egyébhez, mint sorozatos válságokhoz, amelyekből fölmerült Galilei felfogása a lengő kőről. (És valóban, ha más úton is, de ez történt.) E válságok és más szellemi változások következtében Galilei egészen másképp látta a lengő követ. Az úszó testekkel kapcsolatos arkhimédészi kutatások elhanyagolhatóvá tették a közeget, az impetuselmélet pedig szimmetrikussá és tartóssá a mozgást, a neoplatonizmus felhívta Galilei figyelmét arra, hogy a mozgás körív mentén történik.¹⁵ Így ő csak a súlyt, a sugarat, az elmozdulás szögét és a lengésidőt mérte; tehát éppen azokat az adatokat, melyek úgy voltak értelmezhetők, hogy belőlük következzenek az ingamozgás Galilei-féle törvényei. Az értelmezés végül szinte fölöslegesnek bizonyult. Galilei paradigmája alapján az ingamozgás szabályszerűségei már már ránézésre nyilvánvalóak voltak. Mi mással magyarázhatjuk Galileinek azt a fölfedezését, hogy az ingasúly periódusa teljesen független az amplitúdótól? Ezt a fölfedezést a Galilei munkásságából eredő normál tudománynak el kellett vetnie, és ma sem tudjuk igazolni. Aki úgy látta a lengő követ, mint Galilei, annak a számára a közvetlen tapasztalásból adódtak azok a szabályszerűségek, amelyek az arisztotelianus kutató számára nem is létezhetek volna (és amelyek pontosan így valóban nem is fordulnak elő a természetben).

Ez a példa talán túlságosan erőltetett, hiszen az arisztotelianusok tudomásunk szerint a lengő kővel nem is foglalkoztak. Az ő paradigmájuk szerint ez rendkívül bonyolult jelenségnek számított. De ugyanennek az egyszerűbb esetével igenis foglalkoztak: a speciális akadály nélküli eséssel, és a szemléletkülönbség itt is nyilvánvaló. A leeső követ szemlélve Arisztotelész inkább állapotváltozást látott, nem pedig folyamatot. Így számára a mozgás releváns jellemzője a teljes megtett út és az eltelt teljes idő volt, vagyis azok a paraméterek, melyek a mi felfogásunk szerint az átlagsebességet, nem pedig a sebességet adják.¹⁶ Továbbá, mivel a követ saját természete végső nyugvópontja felé hajtja, Arisztotelész a mozgás bármely pillanatában a végpontig terjedő, nem pedig a mozgás kezdőpontjától számított távolságot tekintette releváns távolsági paraméternek.¹⁷ Ezek a fogalmi paraméterek alapozzák meg Arisztotelész legtöbb jól ismert „mozgástörvényét”, és e törvényeknek ezek adnak értelmet. A skolasztikus kritika azonban részben az impetusparadigma, részben az „alakzatok szélességének” tana révén megváltoztatta a mozgásnak ezt a szemléletmódját. Az impetus elmozdítja a követ, és ahogy az távolodik a kiindulóponttól, úgy nő impetusmennyisége; így a végpontig megteendő út helyett a kiindulóponttól megtett távolság lett a releváns paraméter. Azonkívül, a sebesség arisztotelészi fogalma a skolasztika tudósainál két külön fogalommal ágazott szét, ezekből alakult ki nem sokkal Galilei után a mi átlagsebesség és pillanatnyi sebesség fogalmunk. Az eső kő, akárcsak az inga, szinte első pillantásra megmutatta a mozgását irányító törvényeket, nem kellett ehhez egyéb, mint hogy azon a paradigmán át szemléljék, melynek e fogalmak egy részét alkották. Galilei még csak nem is tartozott azok közé, akik először vetették föl, hogy a kő egyenletesen gyorsuló mozgással esik.¹⁸ Ráadásul ezt a tételét, számos következményével együtt, még a lejtővel végzett kísérletei előtt fogalmazta meg. Ez a tétel további eleme volt az új szabályszerűségek hálózatának. E szabályszerűségeket a zseni meg tudta ragadni abban a világban, amelyet a természet és a paradigmák együtt határoztak meg; Galilei és kortársai ezeken a paradigmákon nevelkedtek. Ebben a világban élve, Galilei, ha akarta, meg tudta magyarázni, miért látta Arisztotelész azt, amit látott. Annak azonban, amit Galilei tapasztalt a leeső kő megfigyelésekor, más volt a közvetlen tartalma, mint annak, amit Arisztotelész tapasztalt.

Természetesen egyáltalán nem világos, hogy miért kell annyit foglalkoznunk a „közvetlen tapasztalással”, vagyis az észlelésnek azokkal a sajátosságaival, amelyeket olyan éles megvilágításba helyez egy paradigma, hogy szinte első pillantásra fölfedik szabályszerűségeiket. Ezek a sajátosságok nyilvánvalóan szükségképpen megváltoznak, mikor a tudós más paradigmát fogad el kötelezőként, korántsem azonosíthatók azonban azzal, amire gondolni szoktunk, ha nyers adatokról vagy durva tapasztalásról beszélünk, amelyek állítólag a tudományos kutatás továbbhaladásának a forrásai. Talán mellőzni kéne a közvetlen tapasztalást, mint megfoghatatlant, és ehelyett a laboratóriumban végzett konkrét műveletekkel és mérésekkel kellene foglalkoznunk. Vagy talán még inkább el kellene távolítani az elemzést a közvetlenül adottól. Az ilyen elemzés például valamiféle semleges megfigyelésnyelven folyhatna, s ezt a nyelvet talán úgy kellene kialakítani, hogy összhangban legyen az ideghártyán megjelenő lenyomatokkal, amelyek közvetítik, amit a tudós lát. Csak e módszerek valamelyikét követve remélhetjük, hogy újra megtaláljuk a tapasztalat egyszer s mindenkorra állandó birodalmát, ahol például az inga és az akadályozott esés immár nem két különböző észlelése, hanem két különböző értelmezése a lengő kőről megfigyelés útján nyert, egyértelmű adatoknak.

Am az érzéki tapasztalat tényleg változatlan és semleges? És az elméletek csak objektív adatok emberi értelmezései? A nyugati filozófiában az elmúlt háromszáz évben szinte egyeduralkodó ismeretelméleti fölfogás szerint haladéktalan és egyértelmű igennel kell válaszolni ezekre a kérdésekre. Más kidolgozott alternatíva híján lehetetlennek tartom, hogy teljesen föladjuk ezt az álláspontot. Ez a felfogás viszont nem tesz megfelelően eleget feladatának, és reménytelennek találom azokat a kísérleteket, amelyek egy semleges megfigyelésnyelv bevezetésével igyekeznek újra alkalmassá tenni erre.

A tudományos laboratóriumban végzett műveletek és mérések eredménye nem a tapasztalatilag „adott”, hanem „a nehezen összegyűjtött”. Nem az, amit a tudós lát – legalábbis mindaddig nem, amíg kutatásai jócskán előre nem haladnak, és figyelme egy irányba nem összpontosul. A műveletek és mérések eredményei inkább konkrét utalások elemibb észleletek tartalmára, és csak azért teszik éppen őket a normál tudomány

alaposabb vizsgálatának tárgyává, mert azt remélik, hogy általuk az elfogadott paradigma részletesen és eredményesen kidolgozható. A műveleteket és méréseket a közvetlen tapasztalásnál – melyből részben erednek – a paradigma sokkal egyértelműbben meghatározza. A tudomány nem foglalkozik valamennyi lehetséges laboratóriumi művelettel. Ehelyett kiválasztják azokat a műveleteket, amelyek relevánsak a paradigma és a – részben a paradigma által meghatározott – közvetlen tapasztalat kapcsolata tekintetében. Ennek következtében a más paradigmát követő tudósok más konkrét laboratóriumi műveletekhez folyamodnak. Az ingán más méréseket kell végezni, mint az akadályozott esés esetében. Az oxigén tulajdonságainak földerítésénél sem pontosan ugyanazok a releváns műveletek, mint amelyekre a flogisztontartalmától megfosztott levegő jellegzetességeinek vizsgálatánál van szükség.

Ami a tiszta megfigyelésnyelvet illeti, egyszer talán sikerül illet létrehozni. Mindenesetre Descartes után háromszáz évvel minden ehhez fűződő reményünk még mindig kizárólag az érzékelés és a gondolkodás egy bizonyos, meghatározott elméletére épül. A modern lélektani kísérletek pedig gyors egymásutánban tárnak fel olyan jelenségeket, amelyekkel ez az elmélet alig boldogulhat. A kacsanyúl kísérlet azt mutatja, hogy két ember ugyanazon hártyaingerek alapján mást láthat; a fordító-lencsével végzett kísérletekből pedig az derül ki, hogy két ember különböző ideghártyaingerek alapján ugyanazt láthatja. A pszichológia sok más bizonyítékot is szolgáltat ugyanerre a jelenségre, és az ebből fakadó kételyeket megerősíti a tényleges megfigyelésnyelv kidolgozására irányuló kísérletek története. Mindeddig az e célt megvalósítani próbáló kísérletek egyike sem jutott még a közelébe sem a tiszta észleletek általánosan elfogadható nyelvének. Az ezt mégis leginkább megközelítő próbálkozásoknak pedig van egy közös sajátosságuk, amely erős érv tanulmányunk több fő tétele mellett: eleve feltételeznek valamilyen, bevett tudományos elméletből vagy a mindennapi kifejezések egyik fordulatából merített paradigmát, s azután igyekeznek kiküszöbölni belőle minden nem logikai és nem érzéki elemet. Néhány területen igen messzire jutottak ezek az erőfeszítések, lenyűgöző eredményeket hoztak; kétségtelen, hogy érdemes folytatni őket. Az így létrejövő nyelv azonban, a tudományokban használt nyelvhez hasonlóan, rengeteg sejtést

tartalmaz a természetre vonatkozólag, és amikor ezek a sejtések nem teljesülnek, a nyelv fölmondja a szolgálatot. Nelson Goodman éppen ezt a felismerést fogalmazza meg, amikor így jelöli ki *A látszat szerkezete* című munkájának célját: „Szerencse, hogy csak a [létezőként ismert] jelenségek jöhetnek szóba; korántsem világos ugyanis a lehetséges eseteknek, vagyis az olyan eseteknek a fogalma, amelyek nem léteznek ugyan, de létezhetnek.”¹⁹ Nem képzelhető el olyan nyelv, amely – ha arra korlátozódik, hogy egy eleve teljes egészében ismert világról tudósítson – „az adotról” teljesen semleges és objektív leírással szolgálna. A filozófiai kutatás mindeddig még csak jelezni sem volt képes, milyennek kéne lennie egy erre alkalmas nyelvnek.

Ilyesformán legalábbis feltételezhetjük, hogy a tudósoknak elvben és a gyakorlatban is igazuk van, amikor az oxigént és az ingát (és talán az atomot és az elektront is) közvetlen tapasztalatuk lényeges alkotóelemének tekintik. Az emberiség, a kultúra és végül a tudományok paradigmába beépült tapasztalatának eredményeképpen a tudósok univerzuma benépesült: megjelentek benne a bolygók és az ingák, a kondenzátorok, az összetett ércék és számtalan más létező. Az érzékelés e tárgyaihoz képest akár a méterrúdon található jelek, akár az ideghártyán megjelenő lenyomatok olyan bonyolult elmeszülemények, amelyekhez csak akkor vezet közvetlen tapasztalati út, ha a tudós sajátos kutatási céljainak megfelelően gondoskodik róla, hogy így legyen. Ezzel nem akarjuk azt állítani, hogy például a lengő követ nézve a tudós csak ingát láthat. (Az előbb láttuk, hogy egy másik tudományos közösség tagjai ugyanott akadályozott esést láthatnak.) Annyit állítunk mindössze, hogy a lengő követ néző tudós elvileg nem lehet elemibb tapasztalata, mint az, amikor ingát lát. A másik lehetőség nem valamiféle hipotetikus „rögzített” látás, hanem egy másik paradigmán keresztül való látás, olyan látás tehát, amely a lengő követ valami egyéb-
bé teszi.

Mindezt könnyebben beláthatjuk, ha visszagondolunk arra, hogy sem a tudós, sem a laikus nem részenként, pontról pontra tanulja meg látni a világot. Kivéve, ha előre készen vannak az összes fogalmi és műveleti kategóriák – például egy új transzurán elem felfedezésekor vagy egy új ház megpillantásakor –, amikor mind a tudós, mind a laikus egész területeket együtt metsz ki az állandóan változó tapasztalatból. Amikor a gyermek

számára a „mama” szó már nem az összes embert, hanem csak a nőket, majd csak az anyját jelöli, akkor nemcsak azt tanulja meg, hogy mit jelent a „mama”, vagy hogy ki az anyja. Ugyanakkor megtanulja a férfiak és a nők közötti különbségek egy részét és valamit arról is, hogyan fog viselkedni vele minden nő, egy kivételével. Ennek megfelelően átalakulnak reakciói, váromozásai és hiedelmei, sőt még észlelt világának nagy része is. Hasonlóképpen, a Kopernikuszt követő csillagászok, amikor a Naptól megvonták a hagyományos „bolygó” elnevezést, nemcsak azt tanulták meg, hogy mit jelent a „bolygó”, vagy micsoda a Nap, hanem úgy változtatták meg a „bolygó” szó jelentését, hogy az a megkülönböztetésnek jól használható eszköze maradjon abban a világban, ahol nemcsak a Napot, hanem az összes égitestet is másképp látták, mint azelőtt. Ugyanez kimutatható volna bármely korábbi példánkról. Amikor oxigént láttak flogisztontartalmától megfosztott levegő, kondenzátort leydeni palack vagy ingát akadályozott esés helyett, ez csupán része volt a tudósok átfogó, igen sok, egymással összefüggő kémiai, elektromos vagy dinamikai jelenséget érintő szemléletváltásának. A paradigmák a tapasztalat nagy területeit határozzák meg egyszerre.

Csak ha már a paradigma ily módon meghatározta a tapasztalatot, kezdődhet meg az operacionális definíció vagy a tiszta megfigyelésnyelv kutatása. Annak a tudósnak vagy filozófusnak, aki megkérdezi, hogy miféle mérések vagy ideghártyalenyomatok teszik az ingát azzá, ami már képesnek kell lennie az inga fölismerésére, ha megpillant egyet. Ha akadályozott esést látna helyette, akkor nem is tehetné föl ezt a kérdést. Ha pedig ingát látna ugyan, de ugyanúgy látná, mint egy hangvillát vagy lengő mérleget, akkor kérdése megválaszolhatatlan volna. Vagy legalábbis nem volna ugyanolyan módon megválaszolható, mert nem ugyanaz a kérdés volna. Így tehát az ideghártyalenyomatokra vagy egyes laboratóriumi műveletek eredményeire vonatkozó kérdések sohasem jogosulatlanok, sőt néha rendkívül gyümölcsözőek ugyan, de előre feltételeznek egy érzékileg és fogalmilag bizonyos módon felosztott világot. Az ilyen kérdések bizonyos értelemben részei a normál tudománynak, hiszen mindig valamely paradigmára épülnek, és a paradigma megváltozásával megváltoznak a lehetséges válaszok.

E fejezet hátralevő részében mellőzzük tehát az ideghártya-érzeteket, és ismét csak azokkal a laboratóriumi műveletekkel foglalkozunk, amelyek bár töredékes, de konkrét jelzéseket adnak a tudósnak arról, amit már előbb is látott. Már többször találkoztunk a laboratóriumi műveleteknek a paradigmaváltást kísérő megváltozásának egyik módjával. A tudományos forradalom után számos mérés és művelet irrelevánssá válik, ezeket másokkal helyettesítik. Nem teljesen ugyanazokat az ismérveket alkalmazzák az oxigénre, mint a flogisztontartalmától megfosztott levegőre. Az efféle változások azonban sohasem terjednek ki mindenre. Bármit lásson is a tudós, a forradalom után is ugyanazt a világot nézi. És igaz ugyan, hogy azelőtt másképp használta a tudomány nyelvét és a kísérleti eszközöket, azok mégis nagyrészt ugyanazok, mint korábban. Következésképpen a tudományos munka a forradalom után változatlanul számos olyan műveletet tartalmaz, mint a forradalom előtt, e műveleteket ugyanazokkal az eszközökkel hajtja végre és ugyanazokkal a kifejezésekkel írja le. Ha egyáltalán megváltoztak a megmaradó műveletek, a változás csak a paradigmához való viszonyukat vagy konkrét eredményeiket érintheti. Most már – egy újabb, utolsó példa bemutatása kapcsán – megkockáztatom azt a feltevést, hogy a változásoknak mindkét említett válfaja előfordul. Dalton és kortársai munkásságát vizsgálva azt fogjuk észrevenni, hogy egy és ugyanaz a művelet, ha más paradigmán keresztül kapcsolódik a természethez, a természeti szabályszerűség más aspektusának mutatójává válik. Azt is meglátjuk majd, hogy új szerepében a régi művelet más eredményeket hoz.

Szinte az egész XVIII. században és még a XIX. század elején is majdnem minden európai kémikus azt hitte, hogy a kémiai anyagokat alkotó elemi atomokat a kölcsönös vegyi vonzóerők tartják össze, s ennél fogva egy ezüstdarabot is az ezüstkorpuzkulák közötti vonzóerők tapasztják össze (egészen a Lavoisier utáni időkig úgy gondolták, hogy ezek a korpuzkulák még elemibb részecskékből állnak). Ugyanezen elmélet szerint az ezüst azért oldódik savban (illetve a só vízben), mert a savrészecskék erősebben vonzzák az ezüstrészecskéket (illetve a vízrészecskék a sórészecskéket), mint e feloldott anyagok részecskéi egymást. Vagy egy másik példa: a réz azért oldódik ezüstoldatban, és azért csapja ki az ezüstöt, mert a réz és a sav között

erősebb az affinitás, mint a sav és az ezüst között. Számos más jelenségre hasonló magyarázatot adtak. A XVIII. században a vegyrokonság elmélete nagyszerű kémiai paradigma volt, széles körben és néha sikerrel alkalmazták a kémiai kísérletek kidolgozásánál és értelmezésénél.²⁰

Az affinitáselmélet azonban úgy vonta meg a fizikai elegy és a kémiai vegyület közti határt, ahogyan Dalton után már nemigen tette senki. A XVIII. századi kémikusok kétfajta eljárást ismertek el. Ha a keverés hőképződéssel, fényhatással, gázfejlődéssel vagy más hasonló jelenséggel járt, akkor úgy gondolták, hogy kémiai egyesülés történt. Ha viszont láthatóan meg lehetett különböztetni vagy mechanikai úton szét lehetett választani a részecskéket a keverékben, akkor csak fizikai elegyről lehetett szó. Akad azonban jó néhány átmeneti eset – só a vízben, ötvözetek, üveg, oxigén a levegőben stb. –, ahol kevéssé voltak használhatók ezek a kezdetleges kritériumok. A paradigmához igazodva, a kémikusok többsége ezt az egész átmeneti területet kémiai tekintette, mivel az ide sorolható folyamatok mindegyikét hasonló erők irányítják. A vízben oldott só vagy a nitrogénnel keveredett oxigén éppúgy kémiai vegyület volt, mint a réz oxidációjakor létrejövő vegyület. Igen erős érvek szóltak amellett, hogy az oldatokat vegyületeknek tekintsék. Magát az affinitáselméletet alaposan bizonyították. Azonkívül egy oldat megfigyelt homogenitását megmagyarázta a vegyületképződés. Ha például az oxigén és a nitrogén a légkörben csak keveréket, nem pedig vegyületet alkotna, akkor az oxigénnek, nehezebb lévén, le kellene süllyednie a legalsó rétegbe. Dalton, aki a levegőt elegynek tekintette, sohasem tudta megfelelően megmagyarázni, hogy az oxigén miért nem teszi ezt. Dalton atomelméletének elfogadásával anomália keletkezett egy olyan területen, ahol azelőtt egyáltalán nem volt.²¹

Csábító volna azt mondani, hogy azok a vegyészek, akik az oldatokat vegyületnek tartották, csak egy definíció tekintetében különböztek utódaiktól. Bizonyos értelemben talán tényleg ez volt a helyzet. Csakhogy ebben az értelemben a definíciók nem pusztán konvenciók. A XVIII. században az elegyeket és a vegyületeket nem kizárólag laboratóriumi vizsgálatokkal különböztették meg egymástól, és talán erre nem is volt mód. Még ha a kémikusok kutattak is volna ilyen ismérvek után, olyan kritériumokat kerestek volna, amelyek szerint az oldat vegyület lett

volna. Az elegy és a vegyület megkülönböztetése része volt paradigmájuknak – része volt annak a módnak, ahogyan egész kutatási területüket látták –, és mint ilyen, elsődleges volt minden konkrét laboratóriumi vizsgálathoz, ha nem is a kémiában felhalmozódott egész tapasztalathoz képest.

Mindaddig azonban, amíg így fogták föl a kémiát, a kémiai jelenségek másféle törvényekhez szolgáltak például, mint azok, amelyek Dalton új paradigmájának elfogadásával jelentek meg. Nevezetesen: amíg az oldatok vegyületek maradtak, önmagában bármily sok kísérletezés sem eredményezhette az állandó súlyviszonyok törvényének felismerését. A XVIII. század végén közismert volt, hogy egyes vegyületekben az alkotóelemek súlyaránya állandó. A német Richter bizonyos reakciók esetében észrevett további szabályszerűségeket is; ezeket ma a kémiai egyenértékek törvénye foglalja magában.²² Egyetlen kémikus sem alkalmazta azonban ezeket a szabályszerűségeket (legfeljebb receptekhez), és majdnem a század végéig senki sem gondolt általánosításukra. A nyilvánvaló ellenpéldák – például az üveg vagy a sós víz – ismeretében nem volt lehetséges semmiféle általánosítás az affinitáselmélet feladása és a kémia határainak új fogalmi meghatározása nélkül. Hogy így áll a helyzet, az a század legvégén két francia kémikus, Proust és Berthollet híres vitája nyomán lett nyilvánvaló. Proust azt állította, hogy minden kémiai reakció állandó súlyarányok szerint megy végbe, Berthollet tagadta ezt. Mindketten nyomós kísérleti bizonyítékokat gyűjtöttek álláspontjuk igazolására. Vitájuk ennek ellenére szükségképpen a süketek párbeszédére emlékeztet, ezért nem is döntött el semmit. Ahol Berthollet olyan vegyületet látott, melyben változhat az összetevők aránya, ott Proust csak fizikai elegyet látott.²³ A vitát sem kísérletezéssel, sem a definícióra vonatkozó megegyezés megváltoztatásával nem lehetett eldönteni. Ugyanúgy két malomban öröltek, mint Galilei és Arisztotelész.

Ez volt a helyzet azokban az években, amikor Dalton hozzákezdett kutatásaihoz, melyek végül elvezették híres kémiai atomelméletéhez. Dalton azonban a kutatások legvégső szakaszáig nem volt kémikus, nem is érdekelte a kémia. Meteorológus volt, azzal a – számára – fizikai problémával foglalkozott, hogy miként abszorbeálja a víz a gázokat és a levegő a vizet. Részben azért, mert képzettsége más szakterületre készítette föl, részben

pedig azért, mert saját munkáját is ezen a másik szakterületen végezte, az említett problémákat a korabeli kémikusokétól eltérő paradigmával közelítette meg. Nevezetesen: a gázok elegyedését, illetve egy gáz abszorpcióját vízben fizikai folyamatnak tartotta, amelyben a vegyi vonzóerők semmiféle szerepet nem játszanak. Így számára is probléma volt ugyan az oldatok megfigyelt homogenitása, de a problémát megoldhatónak vélte, ha sikerül meghatároznia a kísérletei során vizsgált elegyekben szereplő különböző atomi részecskék relatív súlyát és nagyságát. E nagyságok és súlyok meghatározása céljából folyamodott végül a kémiához, kezdettől fogva föltételezván, hogy a reakcióknak abban a szűk körében, amelyeket kémiainak tekintett, az atomok csak 1 : 1 arányban vagy más egyszerű egész számok arányában kapcsolódhatnak egymáshoz.²⁴ Ez a természetes föltevés tette képessé, hogy meghatározza bizonyos elemi részecskék méretét és súlyát, de ugyanez a föltevés az állandó súlyviszonyok törvényét tautológiává változtatta. Dalton szerint azok a reakciók, amelyekben az alkotóelemek nem állandó arányban vesznek részt, *ipso facto* nem tiszta kémiai folyamatok. Mihelyt elfogadták Dalton kutatásainak eredményét, az a törvény, amelyet azelőtt nem lehetett volna kísérletezéssel megalapozni, önmagában semmilyen kémiai mérésorozattal meg nem dönthető rendezőelvvé vált. Példáink közül talán ez fejezi ki legtöbbször a tudományos forradalom lényegét; a benne leírt folyamat eredményeként ugyanazok a kémiai műveletek egészen más viszonyba kerültek a kémiai általánosítással, mint azelőtt.

Mondanunk sem kell: sokan támadták Dalton következtetéseit, amikor először közzétette őket. Berthollet sohasem volt hajlandó elfogadni Dalton elméletét. A dolog természetéből következik, hogy nem is fogadhatta el. Dalton új paradigmája azonban meggyőzőnek bizonyult a legtöbb kémikus számára, akiket korábban Prousté nem győzött meg; az új paradigma nem csupán új kritériumot jelentett az elegyek és vegyületek megkülönböztetésére, hanem sokkal szélesebb körű és jelentősebb következményekkel járt. Például ha az atomok kémiailag csak egyszerű egész számok arányában vegyülhetnek, akkor az ismert kémiai adatok alaposabb vizsgálata példákat tárna föl a többszörös, illetve az állandó súlyviszonyokra is. A kémikusok már nem azt írták, hogy például a szén két különböző

oxidja 56, illetve 72 súlyszázalék oxigént tartalmaz, hanem ehelyett így fogalmaztak: egységnyi súlyú szén vagy 1,3, vagy 2,6 egységnyi súlyú oxigénnel vegyül. Ha a régi kísérleti eredményeket így írták le, szembeötlött a 2 : 1 arány; és ugyan ez történt számos jól ismert, valamint több új reakció elemzésekor is. Dalton paradigmája lehetővé tette, hogy feldolgozzák Richter eredményeit, és hogy teljes mértékben fölismerjék általános jellegüket. A paradigma új kísérleteket is sugallt, elsősorban Gay-Lussacnak az egyesülési térfogatokkal kapcsolatos kísérleteit. Ezek a kísérletek újabb szabályszerűségeket tártak föl, olyanokat, amelyekről a kémikusok korábban nem is álmodtak. A vegyészek nem új kísérleti törvényeket vettek át Daltontól, hanem a gyakorlati kémia új módszerét (ő maga „a kémiai filozófia új rendszerének” nevezte ezt), és ez a gyakorlat oly hamar termékenynek bizonyult, hogy Franciaországban és Angliában csak néhány idősebb kémikus tudott ellenállni neki.²⁵ A kémikusok olyan világba kerültek, ahol a kémiai reakciók egészen másként viselkedtek, mint azelőtt.

Ezzel párhuzamosan végbement egy másik jellegzetes és igen fontos változás is. Itt-ott maguk a kémia számszerű adatai is kezdtek megváltozni. Amikor Dalton először a kémiai irodalomban keresett fizikai elméletét alátámasztó adatokat, talált erre alkalmas reakcióleírásokat, de aligha kerülhette el, hogy olyanokkal is találkozzék, amelyek nem felelnek meg az ő elméletének. Például Proustnak a réz két oxidjára vonatkozó saját mérései 1,47 : 1 oxigénsúly-arányt adtak, nem pedig az atomelmélet által megkívánt 2 : 1-et; márpedig éppen Prousttól lehetett a leginkább elvárni, hogy a Dalton-féle arányt állapítja meg.²⁶ Kiváló kísérletező tudós volt ugyanis, és fölfogása az elegyek és vegyületek közötti viszonyt illetően igen közel állt a Daltonéhoz. Csakhogy nehéz összehangolni a természetet és egy paradigmát. Épp ezért olyan csábítóak a normál tudomány rejtvényei, és ezért olyan ritka, hogy paradigma nélkül végzett mérések egyáltalán bármilyen következtetésre vezessenek. A kémikusok nem fogadhatták el Dalton elméletét egyszerűen a bizonyítás alapján, már csak azért sem, mert a bizonyítás nagyrészt még negatív jellegű volt. Az elmélet elfogadása után a természetet hozzá kellett igazítaniuk, s ez a munka végül is majdnem egy emberöltőnyi ideig tartott, amikor pedig lezárult,

még jól ismert vegyületeknek a százalékos összetétele is másnak bizonyult, mint azelőtt. Maguk az adatok változtak meg.

Az utolsóként említett szempont alapján is megkockáztathatjuk azt az állítást, hogy a forradalom után a tudósok egy másik világban dolgoznak.

XI. A FORRADALMAK LÁTHATATLANSÁGA

Hátravan még a kérdés: hogyan zárulnak le a tudományos forradalmak? Szükségesnek látszik azonban előbb egy utolsó erőfeszítés a forradalmak létét és mibenlétét illető meggyőződésünk alátámasztására. Eddig példákkal próbáltam szemléltetni a forradalmakat, s a példák szaporíthatók *ad nauseam*. Jól tudjuk azonban, hogy a közismert voltok alapján, tudatosan kiválasztott példák többségét nem forradalomnak, hanem a tudományos ismeretek bővülésének szokták tekinteni. Minden további példa ugyanígy ki lenne téve ennek az ellenvetésnek, így hiábavaló volna. Szerintem tökéletesen megmagyarázható, hogy a forradalmak miért bizonyultak szinte láthatatlannak. A tudósok éppúgy, mint a laikusok, olyan tekintélyes forrásból merítik az alkotó tudományos tevékenységről alkotott elképzeléseik jó részét, amely – részben funkcionális okok miatt – módszeresen elfedi a tudományos forradalmak lényegét és jelentőségét. Csak akkor remélhetjük, hogy teljesen célravezetően tudjuk alkalmazni a történelmi példákat, ha előbb felismerjük és megvizsgáljuk e tekintély jellegét. Továbbá – bár ezt teljes egészében csak könyvünk zárófejezetében fejthetjük ki –, az itt szükséges elemzés kezdi majd elárulni egy olyan mozzanatot is a tudományos munkának, mely a legegységesebben különbözteti meg – talán a teológia kivételével – minden más alkotótevékenységtől.

Az említett tekintélyes forrást illetően elsősorban a tudományos kézikönyvekre és az őket követő népszerűsítő filozófiai munkákra gondolok. Ha eltekintünk azoktól, akik maguk is közvetlenül részt vettek a kutatómunkában, a tudományról egészen a legutóbbi időkig semmi más érdemleges tájékoztató forrás nem volt hozzáférhető. A kézikönyveknek, az ismeretterjesztő és filozófiai írásoknak viszont közös vonásuk, hogy csak a problémák, adatok és elméletek már kimunkált együttesével foglalkoznak, azaz leggyakrabban azzal a sajátos, adott para-

digmarendszerrel, amely mellett a tudományos közösség a munkák megírásakor elkötelezi magát. Maguk a kézikönyvek a korabeli tudományos nyelv szókincsének, fogalmazásmódjának a közvetítésére törekednek. A népszerűsítő munkák ugyanezt a mindennapi élethez közelebb álló nyelven próbálják leírni. A tudományfilozófia pedig, különösen az angolszász világban, ugyanennek a lezárt tudományos ismeretegyüttesnek a logikai szerkezetét elemzi. Bár ha bővebben tárgyalnánk a tudományos irodalom e három műfaját, nem mellőzhetnénk a közöttük fel-lelhető nagyon is valóságos különbségeket sem, bennünket itt közös vonásaik érdekelnének leginkább. A lezajlott forradalmak szilárd végeredményét közlik, és így az általánosan elfogadott normál tudományos tradíció alapjait mutatják be. Ahhoz, hogy betölthessék szerepüket, nem kell hitelesen beszámolniuk arról, hogyan ismerték fel ezeket az alapokat, majd ezek hogyan lettek a szakma közkincsévé. A kézikönyvek tehát legalább jó okkal rendszeresen félrevezetők.

A II. fejezetben már megállapítottuk, hogy az első paradigma megjelenésének minden tudományterületen elmaradhatatlan kísérőjelensége, hogy nő a kézikönyvekbe vagy az őket helyettesítő más munkákba vetett bizalom. Tanulmányunk zárófejezetében majd bizonyítjuk is, hogy az érett tudományok fejlődését jellegzetesen megkülönbözteti az emberi tevékenység más területeinek a fejlődésétől az, hogy bennük uralkodó szerepet játszanak az ilyen kézikönyvek. Egyelőre vegyük magától értetődőnek, hogy mind a laikusok, mind a gyakorló kutatók hagyományos ismeretei egyéb területeken példátlan mértékben kézikönyvekre és belőlük származó másfajta irodalomra épülnek. A kézikönyveket azonban, mivel ezek a normál tudomány fenntartásának pedagógiai eszközei, részben vagy egészen át kell írni, valahányszor a normál tudomány nyelve, problémáinak szerkezete, illetve normái megváltoznak. Röviden, minden egyes tudományos forradalom után át kell írni őket, és mihelyt ez megtörtént, szükségképpen elfedik nemcsak az őket létrehozó tudományos forradalom szerepét, hanem pusztá ténnyé is. Sem a gyakorló tudósok, sem a kézikönyv-irodalom laikus olvasóinak a történelmi érzéke – hacsak nem volt személyes tanúja valamely tudományos forradalomnak – nem terjed túl az illető tudomány területén legutóbb végbement forradalmak eredményén.

A kézikönyvek tehát előbb jelentős mértékben megcsonkítják a tudós érzékét tudományága története iránt, majd valami utánzattal pótolják azt, amit megsemmisítettek. A tudományos kézikönyvek jellegzetes módon éppen csak ízelítőt adnak a tudomány történetéből, vagy egy bevezető fejezet keretében, vagy pedig úgy – és ez a gyakoribb eset –, hogy elszórt utalásokban foglalkoznak régebbi korok hőseivel. Az ilyen utalások a diákokban és a tudósokban egyaránt azt az érzést keltik, hogy régi keletű történelmi hagyomány részesei. A tudósok azonban olyan, a kézikönyvek sugallta hagyomány folytatóinak vélik magukat, amely valójában sohasem létezett. A tudományos kézikönyvek (és a régebbi tudománytörténeti munkák közül is sajnálatosan sok) nyilvánvaló és nagyon is gyakorlati okokból csak arra hivatkoznak a múlt tudósainak munkásságából, ami minden nehézség nélkül hozzájárulásnak tekinthető a pillanatnyi paradigmikus problémák megfogalmazásához és megoldásához. Részben a válogatás, részben hamisítások segítségével hallgatólagosan úgy tüntetik fel a letűnt korok tudósait, mintha ugyanazon a meghatározott problémakészleten, ugyanannak a meghatározott szabálykészletnek megfelelően dolgoztak volna, mint amelyet a tudományos elmélet és módszer legutóbbi forradalma egyedül tudományosnak mutat. Nem csoda, hogy minden tudományos forradalom után át kell írni a kézikönyveket és a bennük szereplő történelmi hagyományt. S az sem meglepő, hogy mihelyt lezajlik ez az átírás, a tudomány megint nagyrészt kumulatív tevékenységnek tűnik.

Természetesen nemcsak a tudósok hajlamosak azt hinni, hogy szakmájuk fejlődése egyenes irányú a múlttól a jelenlegi magas szintig. Mindenütt és állandóan jelen van a kísértés, hogy visszafelé írjuk a történelmet. A tudósokra azonban még erősebben hat az a kísértés, hogy átírják a történelmet, egyrészt azért, mert a tudományos kutatás eredményei nem mutatnak nyilvánvaló összefüggést a kutatás történelmi kontextusával, másrészt pedig azért, mert a tudós helyzete saját korában, a válságok és a forradalmak időszakától eltekintve, igen szilárdnak tűnik. Több történelmi részlet, akár a tudomány jelenéből, akár a múltjából, vagy szorosabb kötődés a bemutatott történelmi részletekhez csak hamis rangra emelhetné az egyéni észjárását, a tévedést és a zavaros gondolkodást. Miért kéne tisztelettel övezni azt, amiről a tudomány legértékesebb és legkitartóbb erőfeszítései

révén sikerült megszabadulni? A történelmi tény lebecsülése mélyen és valószínűleg funkcionálisan átjárta a tudósok ideológiáját, pedig egyébként ugyanezek a tudósok másfajta tényszerű részleteket tartanak a legfőbb értéknek. Whitehead beleélte magát a tudományos közösség történelemellenes szellemébe, amikor ezt írta: „Halálra van ítélve az a tudomány, mely vonakodik elfelejteni alapítóját.” Mégsem volt teljesen igaza, ugyanis a tudományoknak – mint más szellemi foglalkozásoknak – valójában szükségük van hőseikre, és igenis megőrzik nevüket. A tudósok azonban nagyon is képesek elfelejteni vagy meghamisítani a hősök műveit.

Ennek következtében a tudósok állandóan arra törekednek, hogy a tudomány történetét egyenes vonalú vagy összegző folyamatnak tekintsék, s gyakran még a saját kutatására visszatekintő tudóst is befolyásolja ez a hajlam. Dalton például három, egymással összeegyeztethetetlen beszámolóban írta le kémiai atomelméletének kialakulását, s mindháromban úgy tünteti föl, mintha kezdettől fogva a vegyülési arányoknak ugyanazok a kémiai problémái foglalkoztatták volna, amelyeknek a megoldása később híressé tette nevét. Úgy tűnik azonban, hogy ezek a problémák valójában csak megoldásukkal egyszerre öltöttek formát Dalton számára, mégpedig akkor, amikor már majdnem befejezte alkotó munkásságát.¹ Dalton egyik beszámolójában sem esik szó arról a forradalmi hatásról, amelyet az idézett elő, hogy a kémiára alkalmazott egy sor, addig csak a fizikában és a meteorológiában honos kérdést és fogalmat. Ez volt Dalton műve, melynek eredménye a terület új megközelítése volt: a kémikusok megtanulták, hogy új kérdéseket tegyenek föl a régi adatokra vonatkozóan, és új következtetéseket vonjanak le belőlük.

Vagy itt egy másik példa: Newton szerint Galilei felfedezte, hogy az állandó gravitációs erő az idő négyzetével arányos elmozdulást eredményez. Galilei kinematikai tétele valóban ezt a formát ölti, ha Newton dinamikai fogalmainak rendszerén belül fogalmazzuk meg. Csakhogy Galilei semmi ilyesmit nem állított. Az eső testeket tárgyalva ritkán hivatkozik erőkire, még sokkal kevésbé a testek esését okozó, egyenletes gravitációs erőre.² Amikor Newton olyan kérdés megválaszolását tulajdonítja Galileinek, amely ennek paradigmái szerint föl sem merülhetett, ezzel elfedi egy kicsiny, de forradalmi változásnak a

hatását: másképp fogalmazódtak meg a mozgásra vonatkozó kérdések, és a tudósok más válaszokat tekintettek elfogadhatónak. Pedig éppen a kérdések és válaszok megfogalmazásának ilyenfajta változásai, nem pedig új empirikus felfedezések teszik érthetővé az átmenetet az arisztotelészi dinamikáról a Galilei-féle dinamikára, majd a Galilei-féléről a newtoni dinamikára. A kézikönyvek az ilyen változások elhallgatásával egyenes irányúnak tüntetik föl a tudomány fejlődését, és ezzel elfedik a tudományos fejlődés legfontosabb eseményeinek mélyén végighúzódó folyamatot.

Az előbbi példák mindegyike egy-egy forradalommal összefüggésben mutatja be a történelem átdolgozásának kezdetét; ezt a folyamatot általában a forradalom utáni tudományos kézikönyvek zárják le. Ez a befejezés azonban nem pusztán a fent jelzett történelemhamisítások megsokszorozását jelenti. A hamisítások láthatatlanná teszik a forradalmakat; a tudományos kézikönyvekben még látható anyag elrendezése olyan folyamatot sejtet, amelyben – ha valóban így történtek volna a dolgok – semmiféle szerep nem jutna a forradalmaknak. Mivel a kézikönyveknek az a céljuk, hogy gyorsan megismertessék a tudóst mindazzal, amit a korabeli tudományos közösség tudni vél, az általánosan elfogadott normál tudomány kísérleteit, fogalmait, törvényeit és elméleteit a lehető legjobban elkülönítve és a lehető legfolyamatosabban tárgyalják. Ez az előadásmód mint pedagógiai eszköz kifogástalan. Amikor azonban összekapcsolódik a tudományos irodalom általános történelmietlen szellemével és az imént tárgyalt, esetenként célzatos hamisításokkal, akkor azt az erős, nyomasztóan meggyőző benyomást kelti, hogy a tudomány egyes felfedezések és feltalálások sorozatán át érte el jelenlegi állapotát, s miután főlhalmozódtak ezek, együtt alkotják a szakmai ismeretek modern együttesét. A kézikönyv előadásmódja azt sugallja, hogy a tudósok a tudományos tevékenység kezdetétől fogva a mai paradigmák által megtestesített, sajátos célokra törekedtek. A tudósok egy-egy újabb ténnyel, fogalommal, törvénnyel vagy elmélettel járultak hozzá a korabeli tudományos kézikönyvekben szereplő információtömeghez; ezt a folyamatot gyakran hasonlítják ahhoz, hogy egy ház is téglánként épül föl.

A tudomány azonban nem így fejlődik. A korabeli normál tudomány számos rejtvénye nem is létezett a legutóbbi tudomá-

nyos forradalom előtt, és nagyon kevés vezethető vissza annak a tudománynak a bölcsőjéig, amelynek kereteiben ma felmerül. A korábbi nemzedékek saját eszközeikkel és saját szabályaikkal törekedtek saját problémáik megoldására. Az sem igaz, hogy csupán a problémák változtak meg, inkább a természethez a kézikönyv paradigmája szerint illeszkedő egész tény- és elméletrendszer módosult. A kémiai összetétel stabilitása például csak tapasztalati tény volna, és kísérletezéssel fölfedezhető lett volna bármely világban, amelyben vegyészek valaha is működtek? Vagy inkább immár vitathatatlan eleme annak az új, egységes tény- és elméletszerkezetnek, amelyet Dalton a korábbi kémiai tapasztalat egészére épített, közben megváltoztatva magát a tapasztalatot is? Továbbá az a megállapítás, hogy az állandó erő egyenletes gyorsulást eredményez, pusztán tény-e, amelyet a dinamikával foglalkozó kutatók mindig is kerestek, vagy inkább válasz egy olyan kérdésre, amely csak a newtoni elméletben merült föl először, s amelyre ez az elmélet válaszolni tudott a kérdés feltevésére is rendelkezésre álló információanyag alapján?

Ezek a kérdések a kézikönyvek előadásában apránként fölfedezettnek látszó tényekre vonatkoznak. Nyilvánvaló azonban, hogy kérdéseinkből levonhatók következtetések a kézikönyvekben előadott elméletekre is. Ezek az elméletek természetesen „megfelelnek a tényeknek”, de csak azután, hogy korábban is hozzáférhető információk tényekké váltak, mégpedig olyan tényekké, amelyek az előző paradigma szerint egyáltalán nem is léteztek. Ez pedig azt jelenti, hogy az elméletek sem apránként alakulnak ki, hogy megfeleljenek a mindig is adott tényeknek. Inkább az előző tudományos hagyomány forradalmi átalakítása nyomán hozzájuk illeszkedő tényekkel együtt jönnek létre, s az így átértelmezett tradícióban belül a tudós és a természet közötti viszonyt közvetítő tudás sem ugyanaz már, mint azelőtt.

Még egy utolsó példával szeretném megvilágítani, hogy miként befolyásolja a kézikönyvek előadásmódja elképzelésünket a tudomány fejlődéséről. Minden alapfokú kémiatankönyvnek foglalkoznia kell a kémiai elem fogalmával. A fogalom bevezetésekor majdnem mindig a XVII. századi vegyészre, Robert Boyle-ra vezetik vissza eredetét, akinek *Sceptical Chymist* című munkájában a figyelmes olvasó meg is találja az „elem”-nek a ma használatoshoz egészen közel álló meghatározását. Boyle

közreműködésének megemlítése segít a kezdő tudomására hozni, hogy a kémia nem a szulfonamidokkal kezdődött; továbbá arra is föl hívja a figyelmét, hogy a tudós egyik hagyományos feladata ilyenfajta fogalmak feltárása. A tudósképzés egyik ropant hatásos eszköze ez a hivatkozás Boyle-ra. Mindamellett újabb példa ez arra is, hogy miként jönnek létre azok a történelmi félreértések, amelyek mind a tudósokat, mind a laikusokat megtévesztik a tudomány természetét illetően.

Boyle azt állítja, és igaza van, hogy az elem „meghatározása” nála nem több, mint egy hagyományos kémiai fogalom parafrazisa; Boyle csak azért fogalmazta meg, hogy bebizonyítsa: kémiai elem tulajdonképpen nem létezik. A kézikönyvek magyarázata Boyle szerepéről tehát egészen téves.³ Ez a félreértés természetesen jelentéktelen, de nem jelentéktelenebb, mint az adatok bármilyen más hamis beállítása. Nem jelentéktelen viszont az a benyomás a tudományról, amelynek kialakulását elősegítik, amikor az ilyenfajta félreértést először fogalmazzák meg, és beépítik a kézikönyv szerkezetébe. A kémiai elem fogalma – éppúgy, mint az „idő”, az „energia”, az „erő” vagy a „részcseke” – egyike a kézikönyvek olyan kellékeinek, amelyeket egyáltalán nem találtak föl vagy fedeztek föl. Ami Boyle meghatározását illeti, az nyomon követhető legalább Arisztotelésztől Lavoisier-n keresztül a modern kézikönyvekig. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a tudomány a klasszikus ókortól kezdve rendelkezett volna az elem modern fogalmával. A Boyle-éhoz hasonló verbális meghatározásoknak önmagukban véve alig van tudományos tartalmuk. Nem kimerítő logikai leírásai a jelentésnek (ha egyáltalán lehetséges ilyen), hanem inkább csak pedagógiai segédeszközök. Az így meghatározott tudományos fogalmak teljes jelentése csak akkor bontakozhat ki, ha egy kézikönyvben vagy más rendszeres előadás során összekapcsolódnak egyéb tudományos fogalmakkal, művelési eljárásokkal és a paradigma alkalmazásaival. Következésképpen aligha találhatták föl az ilyenfajta fogalmakat összefüggéseiktől függetlenül. Ha pedig az összefüggés adott, többnyire fölösleges a fogalmak föltalálása, mert már ismertek. Boyle is, Lavoisier is lényegesen megváltoztatta az „elem” kémiai jelentését, de nem ők találták fel a fogalmat, sőt nem is változtatták meg meghatározásának verbális módját. Mint láttuk, Einsteinnek sem kellett föltalálnia, sőt még kifejezetten újra meghatá-

roznia sem a „teret” és az „időt” ahhoz, hogy új értelmet adjon nekik műve szövegösszefüggésében.

Milyen tényleges történelmi szerep fejeződött ki Boyle művének abban a részletében, amely e híres „meghatározást” tartalmazza? Boyle volt az egyik vezéregyénisége annak a tudományos forradalomnak, amely – megváltoztatva az „elem” viszonyát a kémiai művelethez és a kémiai elmélethez – e fogalmakat a korábbtól egészen eltérő eszközzé alakította át, s ezáltal átalakította a kémiát és a kémikus világot is.⁴ Újabb forradalmakra, többek között a Lavoisier nevéhez fűződőre is szükség volt ahhoz, hogy a fogalom elnyerje mai formáját és szerepét. Mindenesetre Boyle példája jellemző a minden forradalmi szakaszban követett módszerre és arra is, hogy mi történik ezzel a módszerrel, amikor a meglevő ismeretek kézikönyvben fejeződnek ki. Elképzeléseinket a tudomány természetéről s a felfedezésnek és feltalálásnak a tudomány fejlődésében játszott szerepéről minden másnál inkább ez a pedagógiai forma határozza meg.

XII. A FORRADALMAK FELOLDÓDÁSA

Az imént tárgyalt kézikönyvek csak egy-egy tudományos forradalom utóhatásaként készülnek. Ezek az új normál tudományos tradíció kiindulópontjai. Mikor rátértünk a kézikönyvek felépítésének vizsgálatára, nyilván kihagytunk egy lépést: mi történik tulajdonképpen akkor, amikor az új paradigmajelölt elődje helyébe lép? Minden új természetértelmezés, legyen az akár új felfedezés, akár új elmélet, először egyetlen vagy legfeljebb néhány ember elméjében jelenik meg. Először ők tanulják meg másképp látni a tudományt és a világot, s az átmenetet két olyan mozzanat könnyíti meg számukra, amely a tudományos közösség tagjainak többsége számára nem kínálkozik. A kezdeményezők figyelmüket mindig elsősorban a válságot kiváltó problémákra összpontosították, s azonkívül vagy olyan fiatalok, vagy annyira kezdők a válság sújtotta tudományterületen, hogy kortársaik többségénél kevésbé köti őket a régi paradigmából következő világszemlélet és szabályrendszer. Mit kell tenniük, és hogyan képesek az egész tudományos közösséget, illetve annak érintett csoportját áttéríteni saját tudomány- és természetszemléletükre? Mi készíti a tudományos közösséget arra, hogy föladja az egyik normál kutatási tradíciót egy másik kedvéért?

Ahhoz, hogy belássuk e kérdések fontosságát, elég, ha arra gondolunk, hogy a történész csak megválaszolásukkal pótolhatja az elfogadott tudományos elméletek ellenőrzésére, verifikációjára vagy falszifikációjára irányuló filozófiai elemzést. Ha normál tudománnyal foglalkozik, a kutató rejtvényeket fejt, nem pedig paradigmákat ellenőriz. Megtörténhet ugyan, hogy valamilyen rejtvény megoldását keresve, több alternatív megközelítési módot kipróbál, és elveti azokat, amelyek nem a kívánt eredményhez vezetnek, de ezzel nem ellenőrzi a paradigmát. Tevékenysége inkább a sakkozóéhoz hasonlítható, aki feladvány megoldásán dolgozik: előtte van a tábla, vagy maga

elé képzeletben azt, és sorra kipróbálja a lehetséges lépéseket, míg meg nem találja a megoldást. Ezek a próbálkozások – akár a sakkozóra, akár a tudósra gondolunk – csak önmaguk, nem pedig a játékszabályok próbái. Csak addig lehetségesek, amíg magában a paradigmában nem kételkednek. Így tehát a paradigma ellenőrzése csak azután következik, hogy a tudomány válságba jut, mert valamely fontos rejtvény makacsul ellenáll a megoldására tett kísérleteknek. És önmagában még a válság sem elegendő: arra is szükség van, hogy a válság felismerése nyomán alternatív paradigmajelölt jelentkezzék. A tudományokban, nem úgy, mint a rejtvényfejtésben, az ellenőrzés sohasem csak azt jelenti, hogy egyetlen paradigmát vetnek össze a természettel. Az ellenőrzés része annak a versenynek, amelyet két rivális paradigma a tudományos közösség megnyeréséért folytat.

Ez a megfogalmazás, ha gondosan elemezzük, váratlan és talán jelentős hasonlóságot mutat a két legnépszerűbb mai filozófiai verifikációelmélettel. Ma már alig akad tudományfilozófus, aki abszolút ismerveket keresne a tudományos elméletek verifikálására. Tekintettel arra, hogy egyetlen elmélet sem vehető alá minden lehetséges releváns próbának, nem azt kérdik, hogy az elmélet verifikált-e, hanem inkább azt, hogy a ténylegesen meglevő bizonyíték fényében valószínű-e. Ahhoz, hogy megválaszolja ezt a kérdést, az egyik jelentős filozófiai irányzat kénytelen összevetni a különböző elméleteket abban a tekintetben, hogy mennyire képesek kifejteni a rendelkezésre álló bizonyítást. Ugyanígy megkövetelik az elméletek összehasonlítását olyan történelmi helyzetben, amikor éppen elfogadnak egy új elméletet. Igen valószínű, hogy ez jelzi a verifikációról folytatandó viták egyik irányát.

A probabilista elméletek leggyakoribb változatainak mind-egyike igénybe veszi azonban a X. fejezetben tárgyalt tiszta vagy semleges megfigyelésnyelvek valamelyikének a segítségét. Az egyik probabilista elmélet azt kívánja, hogy az adott tudományos elméletet vessük össze minden más elmélettel, amelyről elképzelhető, hogy megfelel az észlelt adatok szóban forgó csoportjának. Egy másik szerint képzeletben el kell végezni valamennyi olyan próbát, amelyet feltehetően ki kell állnia az adott tudományos elméletnek.¹ Nyilván szükség van ilyen konstrukcióra ahhoz, hogy ki lehessen számítani az egyes elmé-

letekre jellemző abszolút vagy relatív valószínűséget, de nehéz belátni, hogy miként lehetne létrehozni egy ilyen konstrukciót. Ha igaz az, amit korábban állítottam, és valóban nem létezhet tudományosan vagy empirikusan semleges nyelvi vagy fogalmi rendszer, akkor valamely paradigmán alapuló tradícióból kell kiindulnia a próbák és elméletek javasolt képzeletbeli konstrukciójának. Ezzel a megszorítással viszont nem közelíthető meg minden lehetséges tapasztalat vagy minden lehetséges elmélet. Így a probabilista elméletek legalább annyira elködösítik a verifikáció körülményeit, mint amennyire megvilágítják. Igazuk van ugyan, amikor hangsúlyozzák, hogy a verifikáció az elméletek és a sok széles körű bizonyíték összehasonlításán alapul, csak hogy a kérdéses elméletek és megfigyelések mindig szorosan összekapcsolódnak már meglévő elméletekkel és megfigyelésekkel. A verifikáció a természetes kiválasztódáshoz hasonlítható: az adott történelmi helyzetben a tényleges lehetőségek közül kiválasztja a leginkább életképeset. Haszontalan dolog azt kérdezni, hogy ez a választás volna-e a legjobb akkor is, ha más lehetőségek is rendelkezésre állottak volna, vagy ha az adatok mások lettek volna, ugyanis nincsenek meg az eszközeink e kérdés megválaszolásához.

Karl R. Popper egészen másképp közelíti meg ezt a problémakört: tagadja, hogy egyáltalán létezhet verifikációs eljárás.² Ehelyett ő a falszifikáció fontosságát hangsúlyozza, az olyan próbák fontosságát tehát, amelyek – negatív eredményük miatt – elkerülhetetlenné teszik az elfogadott elmélet elvetését. Nyilvánvaló, hogy Popper olyanféle szerepet tulajdonít a falszifikációnak, mint tanulmányunk az anomáliát jelentő, azaz a válság előidézésével új elmélet megjelenését előkészítő tapasztalatoknak. Mégsem lehet azonosítani az anomáliát jelentő tapasztalatokat a fennálló elméletet falszifikáló tapasztalatokkal. Én úgy gondolom, hogy ez utóbbiak nem is léteznek. Ahogy az eddigiekben ismételten hangsúlyoztam, soha egyetlen elmélet sem old meg minden rejtvényt, mellyel egy adott pillanatban szembekerül; a már elért megoldások is ritkán tökéletesek. Sőt mindig éppen az adatok és az elmélet nem teljes és tökéletlen egyezéséből adódik a normál tudományt foglalkoztató rejtvények nagy része. Ha az egyezés bármely tetszőleges tökéletlensége elegendő ok volna egy elmélet elvetésére, akkor mindig minden elméletet el kellene vetni. Ha pedig csak az egyezés

nagymérvű hiánya igazolná egy elmélet elvetését, akkor a Popper-iskolának szüksége volna valamilyen „valószínűtlenségi” vagy a „falszifikáció mértékét” mutató kritériumra. Ilyen kritériumot keresve pedig szinte biztos, hogy ugyanolyan nehézségekbe ütköznek, mint amilyenekkel a különböző probabilista verifikációelméletek hívei találkoztak.

E nehézségek jó része elkerülhető, ha felismerjük a tudományos vizsgálódások belső logikájának leírására törekvő két elterjedt és ellentétes fölfogás közös vonását: mindkettő megpróbál két, egymástól nagyrészt független eljárást összevonni. A Popper által emlegetett, anomáliát jelző tapasztalat azért fontos a tudományban, mert ennek nyomán jelentkeznek a meglévő paradigma versenytársai. A falszifikáció pedig valóban előfordul ugyan, de nem egy anomália, illetve falszifikáló példa megjelenésével vagy egyszerű következményeképpen zajlik le. A falszifikáció csak azután következik; külön folyamat, éppúgy nevezhetnénk verifikációnak is, hiszen nem egyéb, mint egy új paradigma győzelme a régi fölött. Ebben az egyesített verifikáló-falszifikáló eljárásban azután központi szerepet játszik az elméletek probabilista összehasonlítása. Úgy gondolom, hogy e kétlépcsős leírásnak az az előnye, hogy igen valószínű, és a segítségével hozzáláthatunk annak a kifejtéséhez, hogy milyen szerepet játszik a valóság és az elmélet egyezése (vagy nem egyezése) a verifikációs eljárásban. A tudománytörténész számára legalábbis nem sok értelme van annak az állításnak, hogy a verifikáció a valóság és az elmélet egyezésének megállapítása. Nincs olyan történelmileg jelentős elmélet, amely ne egyezett volna a tényekkel, a kérdés csak az, hogy mennyire egyezett. Hasonlóképpen arra a kérdésre sem lehet pontos választ adni, hogy egy adott elmélet egyezik-e; illetve mennyire egyezik a tényekkel. Ha azonban az előbbiektől alig különböző kérdések elméletcsoportokra vagy elméletpárokra vonatkoznak, rögtön értelmes kérdésekkel van dolgunk. Egyáltalán nem értelmetlen dolog azt kérdezni, hogy két adott rivális elmélet közül melyik egyezik *jobban* a tényekkel. Elég egy példára hivatkoznunk; bár sem Priestley, sem Lavoisier elmélete nem egyezett pontosan a rendelkezésre álló megfigyelésekkel, nem telt el több, mint egy évtized, és már alig akadt tudós, aki ne úgy döntött volna, hogy a két elmélet közül a Lavoisier-é fedi *jobban* a tényeket.

Ez a megfogalmazás azonban a paradigmák közötti választást könnyebb és hétköznapiabb feladatnak tünteti fel, mint amilyen valójában. Ha eleve egy volna a lehetséges tudományos problémák köre, egy volna a világ, melyben a megoldásokat keressük, és egy volna a normarendszer, melyhez a megoldásoknak igazodniuk kell, akkor többé-kevésbé rutinszerű eljárással el lehetne dönteni a paradigmák közti versenyt, mondjuk úgy, hogy megszámláljuk, melyikkel hány problémát oldottak meg. Csakhogy valójában sohasem teljesülnek tökéletesen ezek a feltételek. A versengő paradigmák képviselői kissé mindig két malomban örölnek. Egyik fél sem fogadja el a másik igazának bebizonyításához szükséges összes nem empirikus föltevést. A szemben álló felek vitája – mint Proust és Berthollet vitája a kémiai vegyületek összetételéről – többé-kevésbé menthetetlenül süketek párbeszéde. Bár a vitázók mindegyike remélheti, hogy megtéríti a másikat, s az úgy látja majd közös tudományterületüket és annak problémáit, mint ő maga, de egyik sem remélheti, hogy sikerül bebizonyítania a saját álláspontját. A paradigmák közötti verseny bizonyítékokkal eldönthetetlen harc.

Már több okát is megtaláltuk annak, hogy a versengő paradigmák védelmezői miért nem érthetik meg sohasem teljesen egymás szempontjait. Ezeket az okokat összefoglalóan a forradalom előtti és a forradalom utáni normál tudományos tradíciók összemérhetetlenségéeként jellemeztük, itt elég, ha röviden áttekintjük őket. Először is, a rivális paradigmák képviselőinek véleménye gyakran eltér abban a kérdésben, hogy mely problémákat kell minden paradigmajelöltnek megoldania. Más normákhoz igazodnak, illetve másként definiálják a tudományt. A mozgás elméletének magyarázatot kell-e adnia az anyagi részecskék közötti vonzóerőkre, vagy elég, ha egyszerűen csak regisztrálja létezésüket? A newtoni dinamikát azért vetették el oly sokan, mert – és ebben Arisztotelész elméletével éppúgy szembekerültek, mint Descartes-éval – az utóbbi lehetőség elfogadását jelentette. Így azután, mikor végül is elfogadták Newton elméletét, egy kérdés száműzetett a tudományból. Az általános relativitáselmélet büszkén állíthatja, hogy megoldotta ezt a kérdést. Vagy itt egy másik példa: midőn a XIX. század folyamán elterjedt Lavoisier kémiai elmélete, megakadályozta, hogy a kémikusok akár csak föltegyék azt a kérdést, hogy miért

mutatnak a fémek oly sok hasonlóságot; pedig ezt a kérdést a foglissztonkémia megfogalmazta és meg is válaszolta. A Lavoisier-féle paradigmára való áttérés tehát, éppúgy, mint annak idején a Newton-féle paradigmára való áttérés, nemcsak egy megengedett kérdéstől, hanem egy kész megoldástól is megfosztotta a tudományt. Ez a veszteség sem volt azonban végleges. A XX. század során ismét létjogot nyertek a tudományban a kémiai anyagok tulajdonságaira vonatkozó kérdések, és egy részükre választ is találtak.

Valójában azonban nemcsak a normák összemérhetetlenségéről van szó. Mivel az új paradigmák a régiekből születnek, általában megőrzik a hagyományos paradigma által használt terminológiának és mind a fogalmi, mind a kísérleti eszközöknek a jelentős részét. Az átvett elemeket viszont csak ritkán alkalmazzák teljesen hagyományos módon. Az új paradigmán belül régi terminusok, fogalmak és kísérletek új viszonyba kerülnek egymással. Elkerülhetetlen következmény, hogy – bár ez a kifejezés nem egészen pontos – a két rivális iskola félreérti egymást. Nem mondhatjuk, hogy egyszerűen nem volt igazuk azoknak a laikusoknak, akik gúnyt űztek Einstein általános relativitáselméletéből, mert a tér nem „görbülhet”; ez nem közös tévedés volt. Ugyanez érvényes azokra a matematikusokra, fizikusokra és filozófusokra, akik megpróbálták kidolgozni Einstein elméletének euklideszi változatát.³ A teret korábban egységesnek, homogénnek, izotropnak és az anyag jelenlététől függetlennek gondolták. Ha nem így értelmezték volna, a newtoni fizika nem működött volna. Az einsteini univerzumra való áttéréshez módosítani kellett a térből, időből, anyagból, erőből stb. alkotott egész fogalmi hálózatot, és mintegy újra rá kellett helyezni a természet egészére. Hogy miben értettek egyet, és miben nem, azt csak azok tudnák pontosan megmondani, akik ugyanakkor fogadták el vagy nem fogadták el az új szemléletet. A forradalmi vízváltáson keresztül szükségképpen csak részleges az érintkezés. Vagy vegyünk egy másik példát: amikor Kopernikusz kijelentette, hogy a Föld mozog, sokan örültek mondták. Pontatlanság volna azt állítani, hogy egyszerűen csak tévedtek, vagy egyáltalán nem volt igazuk. Számukra a „Föld” fogalmához hozzátartozott a mozdulatlan-ság. Az ő Földjük megmozdíthatatlan volt. Következésképpen Kopernikusz újítása nem pusztán az volt, hogy mozgásba hozta

a Földet. A fizikai és csillagászati problémák egészen új szemlélete volt ez, szükségképpen megváltoztatta a „Föld” és a „mozgás” jelentését.⁴ E változások nélkül a Föld mozgásának eszméje valóban örültség lett volna. Másrészt viszont, amint megtörténtek e változások, és megértették őket, Descartes is, Huygens is ráeszmélt, hogy annak a kérdésnek, mozog-e a Föld, nincs semmiféle tudományos tartalma.⁵

Ezek a példák már jelzik a rivális paradigmák összemérhetlenségének harmadik és legfontosabb aspektusát. Egy bizonyos, közelebről meg nem határozható értelemben azt kell mondanunk, hogy a rivális paradigmák képviselői nem ugyanabban a világban dolgoznak. Az egyik világban kényszer hatásának kitett, lassan eső testek vannak, a másikban meg ugyanazt a mozgást ismételtető ingák. Az egyikben bizonyos oldatok, vegyületek, a másikban elegyek. Az egyik világ egyenletes, a másik görbült térben helyezkedik el. A két tudóscsoport, mivel különböző világban dolgozik, ugyanonnan ugyanabba az irányba nézve különböző dolgokat lát. Ez megint csak nem jelenti azt, hogy bármit láthatnak, amit akarnak. Mindkét csoport a világot nézi, és amit néznek, az nem változik meg. Bizonyos területeken azonban más látnak, és a dolgokat más viszonyban látják egymással. Ezért történhet meg, hogy ugyanaz a törvény, amelyet az egyik csoport még bizonyítás alapján sem képes belátni, a másik számára intuitív alapon nyilvánvalónak tűnik. Ugyanez a magyarázata annak is, hogy csak az egyik csoport megtérésétől várhatják egymás teljes megértését; ezt neveztük paradigmaváltásnak. Mivel az átmenet összemérhetetlen dolgok között zajlik le, a rivális paradigmák közötti átmenet nem történhet lépésenként, a logika és a semleges tapasztalat kényszerének engedve. Ha egyáltalán végbemegy, akkor az alakváltáshoz hasonlóan egy csapásra (ha nem is szükségszerűen egyetlen pillanat alatt) kell végbemennie.

Mi készíti hát a tudósokat erre a lépésre? Részben már meg is válaszoltuk a kérdést, ha észre vesszük, hogy sok esetben egyszerűen nem kerül sor rá. Kopernikus halála után közel egy évszázadig alig volt híve a heliocentrikus világképnek. Newton munkássága a *Principia* megjelenése után még több mint fél évszázadon át nem vált általánosan elfogadottá, különösen a kontinensen nem.⁶ Priestley sohasem fogadta el az oxigénelméletet, Kelvin pedig az elektromágneses elméletet, stb. Az új

paradigmára való áttérés nehézségeiről gyakran maguk a tudósok is beszámolnak. Darwin *A fajok eredetének* végén, egy különösen érzéletes fejtegetésben ezt írja: „Ámbár magam teljesen meg vagyok győződve azoknak a nézeteknek igazságáról, amelyeket e munkámban... előadtam, egyáltalán nem remélem, hogy meggyőzhetek tapasztalt természetbúvárokat, akiknek elméje olyan tények sokaságával van tele, melyeket évek hosszú során át az én véleményemmel homlokegyenest ellenkező szempontból vizsgáltak... bizalommal tekintek a jövőbe – a fiatal és törekvő természetbúvárokra, akikben meglesz a képesség, hogy elfogulatlanul mérlegeljék a kérdés mindkét oldalát.”⁷ Max Planck pedig, amikor *Tudományos önéletrajzában* áttekinti pályáját, szomorúan megjegyzi: „Valamely új tudományos igazság nem úgy szokott győzelemre jutni, hogy az ellenfelek meggyőzöttek, és kijelentik, hogy megtértek, hanem inkább úgy, hogy az ellenfelek lassanként kihalnak, és a felnövekvő nemzedék már eleve hozzászokik az igazsághoz.”⁸

Épp eléggé ismertek ezek a tények, hogysem szükséges volna tovább hangsúlyoznunk őket. Annál inkább szükség van újraértékelésükre. Mindmáig legtöbbször úgy tekintették őket, hogy azt mutatják: a tudósok, lévén gyarló emberi lények, nem mindig képesek beismerni tévedéseiket, néha még szigorú bizonyítás hatására sem. Az én álláspontom viszont az, hogy ezekben az esetekben sem bizonyítékról, sem tévedésről nincs szó. Az egyik paradigmáról a másik paradigmára való áttérés gyökeres gyakorlati fordulat, melyet nem lehet kikényszeríteni. Amikor egyes tudósok – különösen, ha alkotópályájuk egy régebbi normál tudományos tradícióhoz köti őket – akár egész életükön át vonakodnak megtenni a fordulatot, az nem a tudomány normáinak megszegése, hanem a tudományos kutatás természetének egyik megnyilvánulása. Az ellenállás abból a bizonyosságból táplálkozik, hogy a régebbi paradigma végül képes lesz megoldani összes problémáit, a természet pedig beleerőltethető a paradigmából adódó keretekbe. A forradalom idején ez a biztonságérzet szükségképpen merevségnek, macacsságnak látszik, néha pedig csakugyan azzá válik. Ugyanakkor több is ennél. Ez a biztonságérzet teszi lehetővé a normál vagy rejtvényfejtő tudományt. Márpedig csak a normál tudomány által képes az egy szakmához tartozó tudósok közössége kiaknázni a régi paradigma lehetőségeit mind a föltárható jelen-

ségek körének, mind leírásuk pontosságának tekintetében, majd rábukkanni azokra a nehézségekre, amelyeknek a kutatása új paradigma megjelenéséhez vezethet.

Amikor azonban azt állítjuk, hogy az ellenállás elkerülhetetlen és jogos, a paradigmaváltást nem lehet bizonyítással igazolni, ez nem jelenti azt, hogy nincsenek releváns érvek, a tudósokat nem lehet meggyőzéssel álláspontjuk megváltoztatására bírni. Bár a változáshoz néha egy egész emberöltőnek kellett eltelnie, a tudományos közösségek újra meg újra új paradigmákra tértek át. És ezek a fordulatok nem annak ellenére következnek be, hogy a tudósok is emberi lények, hanem éppen azért. Bár egyes tudósok, különösen az idősebbek és tapasztaltabbak, esetleg a végtelenségig ellenállnak, a többség így vagy úgy megközelíthető. Hol ez, hol az a tudós teszi meg a fordulatot, míg végül, amikor a régi iskola utolsó hívei is kihaltak, az egész közösség megint egységes, csak éppen másik paradigma szerint dolgozik. Most tehát azt kell megvizsgáljunk, hogy mi váltja ki az áttérést, és mi az ellenállást.

Miféle választ várhatunk erre a kérdésre? Mivel a meggyőzés módszereiről, az érvekről és ellenérvekről akarunk megtudni valamit egy olyan helyzetben, ahol bizonyításnak nem lehet helye, új kérdéssel van dolgunk, vizsgálódásunknak az eddigektől eltérő úton kell haladnia. Be kell érünk egy nagyon részleges és csak futó benyomásokat rögzítő áttekintéssel. Az eddig elmondottak ismeretében és a most következő áttekintés eredménye alapján erősödni fog bennünk az a gyanú, hogy nincs egyetlen, minden esetre érvényes válasz arra a kérdésre, hogy milyen a tudományos érvelés, ha nem annyira a bizonyításra, mint inkább a meggyőzésre gondolunk. Mindenféle és rendszerint egyszerre több ok készíthet egyes tudósokat új paradigma elfogadására. Az okok némelyike – gondoljunk például arra, hogy Keplert részben napimádata tette Kopernikusz követőjévé – teljesen kívül esik a tudomány belátható területén.⁹ Mások egészen biztosan az egyes tudósok élettörténetének és személyiségének egyéni sajátosságaitól függenek. Néha még az újítónak és mestereinek a nemzetisége és előző hírneve is lényeges szerepet játszhat.¹⁰ Végül tehát kénytelenek vagyunk más-kepp megfogalmazni eredeti kérdésünket. Akkor majd nem azokkal az érvekkel foglalkozunk, amelyek egyik-másik egyént valóban meggyőzték, hanem inkább az előbb-utóbb mindig újra

egyetlen csoportta egyesülő közösség jellegével. Ennek a kérdésnek a tárgyalását azonban az utolsó fejezetre hagyom, és előbb megvizsgálom a paradigmaváltás körüli harcokban különösen hatásosnak bizonyult érvek néhány fajtáját.

Egy új paradigma védelmezőinek talán az a leghatásosabb érve, hogy képesek megoldani a régi paradigma válságához vezető problémákat. Ha állításuk jogos, akkor gyakran ez a lehető legcélravezetőbb érv. Az érintett területen köztudott, hogy valami baj van a paradigmával. A zavart ismételtlen föltárták, de a megszüntetését célzó kísérletek újra meg újra kudarcba fulladtak. Már az új paradigma felmerülése előtt felismerték, hogy vannak „döntő kísérletek”, és létezésüket be is bizonyították. „Döntő kísérletek” segítségével különösen pontosan meg lehet különböztetni egymástól a két paradigmát. Kopernikusz azt állította, hogy megoldotta a naptári év hosszának régi problémáját, Newton azt, hogy összehangolta a földi és az égi mechanikát, Lavoisier azt, hogy megoldotta a gázok azonosításának és a súlyviszonyoknak a problémáját, Einstein pedig azt, hogy az elektrodinamikát összeegyeztethetővé tette a mozgás módosított elméletével.

Különösen akkor valószínű az ilyen állítások sikere, ha az új paradigma kvantitatív értelemben feltűnően pontosabb a réginél. Kepler Rudolf-táblái a ptolemaioszi elméletre támaszkodó minden számításnál pontosabb számszerű eredményt adtak, és ez volt az egyik fő oka, hogy a csillagászok áttértek a kopernikuszi rendszerre. Newton előre megjósolt sok kvantitatív csillagászati észleletet, és valószínűleg ez volt az egyik legfontosabb oka annak, hogy elmélete győzedelmeskedett ésszerűbb, de kivétel nélkül kvalitatív jellegű vetélytársaival szemben. A XX. században pedig mind Planck sugárzási törvénye, mind Bohr atomelmélete meglepő kvantitatív pontosságával győzött meg rövid idő alatt sok fizikust, habár a fizika egészét tekintve mindkét elmélet sokkal több problémát okozott, mint amennyit megoldott.¹¹

Mindazonáltal az az állítás, hogy az új paradigma segítségével meg lehet oldani a válságot kiváltó problémákat, önmagában ritkán elegendő. Nem is mindig jogos az ilyen állítás. Kopernikusz elmélete valójában nem volt pontosabb Ptolemaioszénál, és nem is vezetett közvetlenül semmiféle naptár-tökéletesítéshez. Vagy hogy egy másik példát említsünk, a fény hul-

lámelmélete megjelenése után jó néhány évig még annyira sem adott magyarázatot a polarizációs jelenségekre, mint riválisa, a korpuszkuelaelmélet, márpedig mindenelőtt ezek a jelenségek idézték elő az optika válságát. Néha meg a rendkívüli kutató-sokra jellemző kötetlenebb kutatási gyakorlat szűl paradigmajelöltet, s ez eleinte egyáltalán nem segíti elő a válságot kiváltó kérdések megoldását. Ilyen esetben a tudományág más területein kell bizonyítékot találni; ez egyébként is gyakran előfordul. Különösen meggyőző érvelés építhető fel ezeken a területeken, ha az új paradigma olyan jelenségek előrejelzését teszi lehetővé, amelyeket egyáltalán nem is gyanítottak, amíg a régi paradigma uralkodott.

Kopernikusz elmélete szerint például a bolygóknak hasonló-aknak kell lenniük a Földhöz, a Vénusznak fényváltozásokat kell mutatnia, és a világegyetemnek sokkal nagyobbak kell lennie, mint korábban gondolták. Így amikor Kopernikusz halála után hatvan évvel a távcső segítségével egyszerre fölfedezték, hogy hegyek vannak a Holdon, hogy a Vénusznak fázisai vannak, és hogy rengeteg addig ismeretlen csillag létezik, ezek az észleletek egy sereg új hívet szereztek az új elméletnek, különösen a csillagászok körén kívül.¹² Még drámaibb volt az egyik fő oka annak, hogy a szakmabeliek áttértek a fény hullámelméletére. Franciaországban egy csapatra szinte teljesen behódoltak az elmélet ellenzői, amikor Fresnelnek sikerült kimutatnia, hogy a kör alakú lemez árnyékának középpontjában fehér folt van. Ezt a jelenséget ő sem látta előre, de Poisson, aki kezdetben ellenfele volt, bebizonyította, hogy szükségszerű, bár képtelen következménye Fresnel elméletének.¹³ Az ilyenfajta érvek különösen meggyőzőek, egyrészt azért, mert rendkívül meglepőek, másrészt azért, mert nyilvánvaló, hogy nem voltak eleve „beépítve” az új elméletbe. Hasonló különleges meggyőző ereje lehet néha olyan jelenségeknek is, amelyeket már régen ismertek azelőtt is, hogy az őket magyarázó elméletet először fölvetették. Például Einstein valószínűleg nem számított rá, hogy az általános relativitáselmélet pontosan megmagyarázza majd a Merkúr perihéliumának mozgásában tapasztalt, jól ismert anomáliát, és így annál inkább örült, amikor ez mégis bekövetkezett.¹⁴

Az új paradigma mellett szóló érvek sorában mindeddig azokat vizsgáltuk, amelyek a rivális paradigmák problémameg-

oldó képességének összevetéséből adódnak. A tudósok számára általában ezek az érvek a legfontosabbak és legmeggyőzőbbek. Az előbbi példák után nem lehet kétséges, hogy mi roppant vonzerejük forrása. Mindazonáltal bizonyos okokból, amelyekre hamarosan visszatérünk, ezek az érvek sem az egyes tudósok, sem a tudományos közösség számára nem bírnak kényszerítő erővel. Szerencsére azonban nemcsak ilyen megfontolások készíthetik a tudósokat a régi paradigma elvetésére egy új kedvéért. Az érvek ritkán fogalmazódnak meg explicit módon, s az egyén gyakorlati vagy esztétikai érzékére hatnak; ezek szerint az új elmélet „takarosabb”, „találób” vagy „egyszerűbb”, mint a régi. Az ilyen érvek a természettudományban valószínűleg kevésbé hatásosak, mint a matematikában. A legtöbb új paradigma első változatai kezdetlegeseek. Amikor már esztétikai vonzerejük kibontakozhat, addigra a tudományos közösség zömét meggyőzték más eszközökkel. Az esztétikai megfontolások súlya néha mégis döntő lehet. Bár az ilyen szempontok többnyire kevés tudóst vonzanak, éppen e kevesektől függ az új elmélet végső diadala. Ha nagyon is egyéni okokból nem fogadták volna el hamar az új paradigmajelöltet, akkor az talán sohasem fejlődött volna ki eléggé ahhoz, hogy magához vonzza az egész tudományos közösséget.

Ahhoz, hogy megértsük, miért játszanak fontos szerepet ilyen, jobbára szubjektív és esztétikai megfontolások, fölidézzük, mi is a tárgya egy paradigma körüli vitának. Amikor először merül föl új paradigmajelölt, általában még csak néhányat oldott meg azok közül a problémák közül, amelyek életre hívták, és a megoldások többsége távolról sem tökéletes. Kepler munkásságáig a kopernikuszi elmélet a bolygóállásokra vonatkozó előrejelzések terén alig múlta felül Ptolemaioszéit. Amikor Lavoisier kijelentette, hogy az oxigén „maga a teljes levegő”, új elmélete egyáltalán nem tudott megbirkózni az új gázok elszaporodásából adódó problémákkal, s ezt azután Priestley nagy sikerrel ki is aknáztta ellentámadása során. A Fresnel fehér foltjához hasonló esetek rendkívül ritkák. Rendszerint csak jóval azután, hogy már kifejtették, elfogadták és felhasználták az új paradigmát, dolgozzák ki a kétségtelenül döntő érveket. Gondoljunk például a Föld forgását bizonyító Foucault-ingára, vagy Fizeau kísérletére, amely kimutatta, hogy a fény gyorsabban mozog a levegőben, mint a vízben. Ezeknek az érveknek a

kidolgozása a normál tudomány körébe tartozik, a forradalom utáni kézikönyvekben van szerepük, a paradigma körüli vitában nincs.

Addig azonban, amíg nem jött el a kézikönyvek megírásának ideje, amíg folyik a vita, egészen más a helyzet. Ellenfelei általában joggal állíthatják, hogy az új paradigma még a válságos kérdésgócban sem sokkal különb hagyományos riválisánál. Természetesen jobban kidolgoz egyes problémákat, feltár néhány új szabályszerűséget. Viszont alighanem a régi paradigma is kidolgozható annyira, hogy szembenézzen ezekkel a kihívásokkal, mint ahogy azelőtt is megbirkózott a nehézségekkel. Mind Tycho Brahe geocentrikus csillagászati rendszere, mind a flogiszonelmélet későbbi változatai eleget tettek az új paradigmajelölt kihívásának, és mindegyik elég eredményes is volt.¹⁵ A hagyományos elmélet és kutatási mód védelmezői majdnem mindig kiemelhetnek olyan problémákat, amelyeket a rivális elmélet nem oldott meg, de az ő felfogásuk szerint egyáltalán nem problémák. A víz összetételének felfedezéséig a hidrogén égése nyomós érv volt a flogiszonelmélet mellett a Lavoisier elmélete ellen. És az oxigénelmélet még győzelme után sem volt képes megmagyarázni, hogy szénből éghető gáz állítható elő, pedig ezt a jelenséget a flogiszonelmélet hívei fölfogásuk erős támaszának tekintették.¹⁶ Érvek és ellenérvek néha még a válságot mutató területen is szinte kiegyenlítik egymást. Ezen a területen kívül pedig a mérleg sokszor egyértelműen a hagyomány oldalára billen. Kopernikusz szétzúzta a Föld mozgásának hagyományos magyarázatát, anélkül hogy újat állított volna a helyére; ugyanezt tette Newton a gravitáció, Lavoisier a fémek közös vonásainak régebbi magyarázatával, stb. Ha tehát egy új paradigmajelölt elbírálása kezdettől olyan gyakorlatias emberektől függene, akik csak a paradigmák problémamegoldó képességét vetik össze, akkor nagyon kevés jelentősebb tudományos forradalom mehetne végbe. Ha pedig ehhez hozzáadjuk még azokat az ellenérveket is, amelyek abból adódnak, amit a paradigmák összemérhetetlenségének nevezünk, akkor a tudomány történetében egyáltalán nem lettek volna forradalmak.

Csakhogy a paradigmákról folytatott viták valójában nem a viszonylagos problémamegoldó képesség körül zajlanak, bár a vitázók fogalmazásmódja rendszerint – indokoltan – erre vall. Inkább az a vita tárgya, hogy melyik paradigma irányítsa a

jövőben a kutatást olyan problémák területén, amelyek közül soknak a teljes megoldására még a riválisok egyike sem tarthat igényt. A tudományos kutatás gyakorlatának változó módjai között kell választani, és a döntésnek az adott helyzetben inkább a jövőbeli kilátásokra, mint a régi eredményekre kell épülnie. Amikor valaki viszonylag korán csatlakozik egy új paradigmához, ezt gyakran csak a problémamegoldásból adódó bizonyíték ellenére teheti. Biznia kell tehát abban, hogy az új paradigma megold majd sok felvetődő nehéz problémát, bár csak azt tudja, hogy a régi paradigma néhány problémánál csődöt mondott. Ilyen döntés hit nélkül elképzelhetetlen.

Ez az egyik oka annak, hogy a válság olyan fontos szerepet játszik a tudomány fejlődésében. Azok a tudósok, akik nem éltek át válságot, ritkán mondanak le a problémamegoldás szigorú bizonyítékáról azért, hogy valami olyasmit kövessenek, ami könnyen lidércnyomásnak bizonyulhat, és sokan mindenképpen annak fogják tekinteni. A válság azonban önmagában még nem elegendő. Arra is szükség van, hogy a kiválasztott paradigmajelöltbe vetett hitnek valamiféle alapja legyen, bár ennek sem racionálisnak, sem végső soron helyesnek nem kell lennie. Kell valami, ami legalább néhány tudóst meggyőz róla, hogy a javasolt új elmélet jó vágányon halad; néha teljesen személyes, homályos esztétikai megfontolások töltik be ezt a szerepet. Az embereket ilyen megfontolások győzték meg olyankor, amikor a kifejthető szakmai érvek többsége egészen másra utalt. Megjelenésekor sem Kopernikusz csillagászati elméletének, sem De Broglie anyagelméletének elfogadását nem sok egyéb indíték támogatta. Einstein általános relativitáselmélete pedig még ma is elsősorban esztétikai vonzereje révén szerez magának híveket; erre a vonzerőre a matematikusokon kívül kevesen érzékenyek.

Ezzel nem akarom azt állítani, hogy az új paradigmák valamiféle misztikus esztétikai mozzanatnak köszönhetik győzelmüket. Ellenkezőleg, kevesen hagynak cserben egy hagyományt kizárólag ilyen okokból. Akik pedig mégis megteszik, azokról többnyire kiderül, hogy tévedtek. De ahhoz, hogy egy paradigma valaha is győzhessen, már az első időkben szükség van követőkre, akik képesek olyan szintre emelni, ahol sok gyakorlatias érv hozható föl mellette. De még ezek az érvek sem döntőek önmagukban. Mivel a tudósok ésszerűen gondolkodó

emberek, egyik vagy másik érv végül sokat meggyőz közülük. Nincs azonban egyetlen érv, amely mindannyiukat meggyőzheti, vagy meg kéne győznie. Nem egy egész csoport tér meg, hanem inkább fokozatosan módosul a tudósok megoszlása szakmai kötődésüket illetően.

Lehet, hogy egy új paradigmajelöltnek eleinte kevés a követője, és gyakran talán gyanúsak a követők indítékai is. Ennek ellenére, ha értik a dolgukat, tökéletesítik az új paradigmát, feltárják a benne rejlő lehetőségeket, és megmutatják, mit is jelentene az általa irányított közösséghez való tartozás. És ha a paradigmának az a sorsa, hogy győzzön, a mellette szóló érvek számban és erőben is gyarapodni fognak. Mind többen térnek át az új paradigmára, és folytatódni fog a benne rejlő lehetőségek kiaknázása. Egyre nő az új paradigmára alapozott kísérletek, berendezések, cikkek és könyvek száma. Újabb és újabb tudósok térnek át az új normál tudományos kutatási gyakorlatra, mivel arra a meggyőződésre jutottak, hogy az új szemlélet termékeny, míg végül már csak néhány idősebb kutató tart ki a régi paradigma mellett. És még ezekre sem mondhatjuk, hogy nincs igazuk. Bár a történész mindig találhat olyanokat, akik – mint például Priestley – ésszerűtlenül sokáig ragaszkodtak a régi felfogáshoz, nem jelölhet ki olyan pontot, amelyen túl az ellenállás már nem logikus vagy tudománytalan. Legfeljebb annyit mondhat, hogy aki még akkor is ellenáll, amikor az egész szakma megtért, az *ipso facto* nem tudós többé.

XIII. A FORRADALMAK ÉS A TUDOMÁNYOS HALADÁS

Az előző oldalakon vázlatosan leírtam a tudomány fejlődését annyira, amennyire e tanulmányban lehetséges, nem juthattam el azonban egészen a végeredményig. Ha ez a leírás egyáltalán megragadta a tudomány folytonos fejlődésének lényegi szerkezetét, akkor egyszermind fölvet egy sajátos problémát is: Miért halad ily módon állandóan előre a fent vázolt emberi tevékenység, és például a művészet, a politikai tanok vagy a filozófia miért nem így fejlődik? A haladás miért szinte kizárólag a tudománynak nevezett tevékenységforma sajátja? Tanulmányunk fő részében megcáfoltuk az erre a kérdésre adott leggyakoribb válaszokat. Befejezésül meg kell vizsgálnunk: találhatók-e más válaszok helyettük.

Rögtön megjegyezzük, hogy a kérdés részben tisztán szemantikai. A „tudomány” terminus elsősorban a nyilvánvaló haladást mutató területekre korlátozódik. Sehol sem tűnik ki ez oly világosan, mint azokban a vissza-visszatérő vitákban, amelyeknek az a tárgyuk, hogy egyik vagy másik jelenkori társadalomtudomány valóban tudomány-e. Hasonló viták zajlottak le olyan területek paradigma előtti korszakaiban, amelyeket ma egyértelműen tudománynak tekintenek. Látszólag mindig a vitás terminus meghatározásáról van szó. Némelyek azt állítják, hogy például a pszichológia tudomány, mert ilyen meg ilyen jellegzetességei vannak. Mások azt vetik ellene, hogy ezek a jellegzetességek szükségtelenek, illetve nem elegendők ahhoz, hogy egy területet tudománnyá tegyenek. Nemegyszer rengeteg energiát fordítanak ilyen vitákra, nagy szenvedélyek csapnak össze, de a kívülálló alig érti, hogy miért. Múlhat-e egyáltalán valami lényeges a „tudomány” *definícióján*? Egy definíción múlnék, hogy valaki tudós-e vagy sem? S ha igen, akkor a természettudósokat vagy a művészeket miért nem érdekli a megfelelő terminus definíciója? Szükségképpen felmerül az a gyanú, hogy lényegesebb kérdésről van szó. Valójában talán

inkább ilyenfajta kérdéseket tesznek fel: az én tudományterületem miért nem fejlődik úgy, mint mondjuk a fizika? Milyen technikai, módszertani vagy ideológiai változások tehetnék fejlődésképesé az én tudományterületemet? Ezeket a kérdéseket azonban nem lehet megválaszolni a definícióra vonatkozó megegyezés alapján. S ha jogos a természettudományból vett hasonlat, akkor nem az szünteti meg az ilyenfajta kérdések aggasztó jellegét, hogy találjanak egy definíciót, hanem az, hogy a saját státusukban most bizonytalan csoportok megegyezésre jutnak régi és jelenlegi eredményeik tekintetében. Bizonyára nem véletlen, hogy például a közgazdászok a többi társadalomtudomány művelőinél kevesebbet vitatkoznak azon, hogy szakterületük tudomány-e. Talán a közgazdászok tudják, mi a tudomány? Vagy inkább arról van szó, hogy egyetértenek a közgazdaságtant illetően?

Bár fordítottja már nem egyszerűen szemantikai jellegű, elősegítheti a tudomány- és haladásfogalmunk közötti bonyolult összefüggések tisztázását. Az ókorban, majd Európában az újkor kezdetén megint a festészetet tekintették a kumulatív diszciplínának századokon át. Ezekben a korszakokban azt feltételezték, hogy a művész célja az ábrázolás. A kritikusok és a történészek, többek között Plinius és Vasari, illő tisztelettel számoltak be azokról a felfedezésekről – a rövidüléstől a fény-árnyék módszeréig –, amelyek a természet egyre tökéletesebb ábrázolását tették lehetővé.¹ Akkoriban, különösen a reneszánsz idején, egyszersmind kevés eltérést láttak a tudományok és a művészetek között. Nem Leonardo volt az egyetlen, aki szabadon mozgott e területek között, amelyek csak később különültek el élesen.² S még a diszciplínák közötti állandó mozgás megszűnése után is éppúgy alkalmazták a „művészet” kifejezést a szintén fejlődőnek tekintett technikára és kézművesmesterségekre, mint a festészetre és a szobrászatra. Csak mikor az utóbbiak egyértelműen feladták az ábrázolást mint célt, és ismét primitív példaképektől kezdtek tanulni, csak ekkor vált a ma természetesnek tekintett választóvonal megközelítőleg olyan élessé, amilyennek mi látjuk. S hogy megint más területeket említsünk, részben azért okoz akkora nehézséget ma a tudomány és a technika közti lényegi különbségek megfogalmazása, mert a haladás mindkét terület nyilvánvaló sajátossága.

Mindazonáltal nem oldjuk meg, csak tisztázzuk nehézségeinket, ha észrevesszük, hogy hajlamosak vagyunk tudományunk

tekinteni bármely haladást mutató területet. Továbbra is válaszra vár az a kérdés, hogy a tanulmányunkban bemutatott eszközöket alkalmazó és célokat követő tevékenységnek miért oly nyilvánvaló és jellegzetes velejárója a haladás. Hamarosan ki fog derülni, hogy ez a kérdés valójában több kérdést tartalmaz, s mindegyiket külön-külön kell szemügyre vennünk. Az utolsó kivételével mindegyik kérdést nagyrészt azáltal sikerül majd megoldanunk, hogy hajlandók leszünk a bevett szemlélethez képest fordítva látni a tudományos tevékenység és az azt végző közösség viszonyát. Meg kell tanulnunk oknak látni azt, amit általában okozatnak tekintenek. Ha erre képesek vagyunk, akkor talán a „tudományos haladás”, sőt még a „tudományos objektivitás” kifejezés is részben fölöslegesnek fog tűnni. E redundancia egyik példájával az imént már találkoztunk. Azért halad egy szakterület, mert tudomány, vagy azért tudomány, mert halad?

Itt az ideje, hogy feltegyük a kérdést: mi indokolja azt, hogy egy olyan tevékenység, mint a normál tudomány, előrehalad? Legelőször is fel kell idéznünk a normál tudomány néhány legszembeötlőbb jellegzetességét. Egy érett tudományos közösség tagjai általában egyetlen paradigma vagy legalábbis egy szorosan összefüggő paradigmaegyüttes szerint dolgoznak. Különböző tudományos közösségek nagyon ritkán foglalkoznak ugyanazokkal a problémákkal. Ezekben a kivételes esetekben e csoportok több fontos paradigmája közös. Bármely egységes – akár tudósokból, akár nem tudósokból álló – közösséget belülről szemlélve, a sikeres alkotómunka eredménye mindig a haladás. Hogyan is lehetne más? Az imént említettük például, hogy amíg a művészek célja az ábrázolás volt, a kritikusok és a történészek a művészek látszólag egységes közösségének fejlődéséről írtak. Más kreatív területeken hasonló jellegű haladást tapasztalhatunk. A dogmát taglaló teológus vagy a kanti erkölcsi törvényeket finomító filozófus is hozzájárul a haladáshoz, még ha csak annak a közösségnek a haladásához is, amely ugyanazokból a premisszákból indul ki, mint ő. Nincs olyan kreatív iskola, amely egy munka sikeres elvégzését alkotásként ismeri el, s nem tekinti ugyanakkor hozzájárulásnak a közösség kollektív teljesítményéhez. Ha mégis kételkedünk benne – mint sokan megteszik –, hogy a nem tudományos területeken van haladás, akkor ennek alapja nem lehet az, hogy az egyes iskolák

egyáltalán nem haladnak. A kétely inkább abból táplálkozik, hogy mindig több rivális iskola tevékenykedik egyszerre, és ezek mindegyike állandóan kétségbe vonja az összes többinek már az alapjait is. Amikor valaki azt állítja, hogy például a filozófia nem mutat haladást, ezt azzal bizonyítja, hogy még mindig vannak arisztotelianusok, nem pedig azzal, hogy az arisztotelianizmus nem ért el haladást.

A tudományok haladását illetően is támadnak azonban kéte-lyek. A paradigma előtti időszakban, amikor több rivális iskola tevékenykedik párhuzamosan, nehezen mutatható ki haladás, hacsak az egyes iskolákon belül nem. A tudomány történetének ebben a szakaszában, ahogy a II. fejezetben megállapítottuk, az egyes kutatók tudományos munkát végeznek ugyan, de tevékenységük eredményeinek összege jelenlegi felfogásunk szerint nem tudomány. S forradalmak idején, amikor egy tudományterület alaptételei ismét kérdésessé válnak, többen is hangot adnak kételyüknek: hátha az ellentétes paradigmák egyikének vagy másikának az elfogadása a további előrehaladás pusztá lehetőségétől is megfosztja a tudományt. Akik visszautasították a newtoni szemléletet, kijelentették, hogy az anyag természetéből fakadó erők feltételezésével a sötét középkorba vetné vissza a tudományt. A Lavoisier-féle kémia ellenfelei szerint a kémiai „alapelvek” elvetése laboratóriumi elemek kedvéért azt jelenti, hogy elvetnek egy kidolgozott, működésképes kémiai magyarázatot, és pusztá nevekhez folyamodnak. Úgy tűnik, hogy hasonló, bár enyhébb formában kifejeződő érzés vezette Einsteint, Bohrt és másokat, amikor nem voltak hajlandók elfogadni a kvantummechanika uralkodó, probabilista értelmezését. Röviden: csak a normál tudományos korszakokban látszik nyilvánvalónak és biztosnak a haladás. Ezekben az időszakokban viszont a tudományos közösség nem is értékelheti másképp munkájának eredményeit.

A normál tudomány esetében tehát részben egyszerűen a szemlélő felfogásától függ, hogy lát-e haladást. A tudomány haladása lényegét tekintve nem különbözik a más területeken tapasztalható haladástól. Csak éppen sokkal könnyebb észrevenni a normál tudományos közösség haladását, mivel többnyire nincsenek egymás céljait és normáit megkérdőjelező, rivális iskolák. Ez azonban csak egy része a válasznak, és semmi esetre sem a legfontosabb része. Például már megállapítottuk, hogy

mihelyt egy közös paradigma elfogadása megszabadítja a tudományos közösséget attól a kényszerűségtől, hogy állandóan felülvizsgálja legfőbb alapelveit, a közösség tagjai erőfeszítéseiket kizárólag a közösségre tartozó legnehezebb és legezoterikusabb jelenségekre összpontosíthatják. Ennek szükségképpen az a következménye, hogy a közösség a maga egészében hatékonyabban képes új problémák megoldásán munkálkodni. A tudományos élet más jellegzetességei tovább fokozzák ezt a különleges hatékonyságot.

E jellegzetességek egyike abból a sehol máshol nem tapasztalható tényből adódik, hogy az érett tudományos közösségeknek nem kell eleget tenniük a laikus és a mindennapi élet támasztotta igényeknek. Ez a védettség sohasem teljes; mi itt a fokozati különbségekkel foglalkozunk. Az egyéni alkotómunka azonban sehol máshol nem szól ennyire csak a közösség többi tagjának, és csak itt találkozunk azzal, hogy a közösségnek szinte kizárólagos joga az eredmények értékelése. A legezoterikusabb költőt vagy a legabsztraktabb teológust is jobban érdekli, hogy miként fogadja művét a laikus közösség, mint a tudóst, még akkor is, ha egyébként általában kevésbé törődnek az elismeréssel, mint a tudós. Ez a különbség fontos következményekkel jár. Mivel a tudós közönsége kizárólag kollégáiból áll, olyan emberekből tehát, akik osztják értékeit és meggyőződéseit, eleve adottnak vehet egy bizonyos normarendszert. Nem kell azzal törődnie, hogy mit gondol egy másik közösség vagy iskola, és így könnyebben haladhat problémáról problémára, mint azok, akik kevésbé homogén közösség számára dolgoznak. Még fontosabb, hogy a tudományos közösség el van szigetelve a társadalomtól, s ez lehetővé teszi, hogy az egyes tudósokra a problémákra összpontosítsa figyelmét, amelyekről joggal gondolja, hogy képes őket megoldani. A tudósnak – a mérnöktől, sok orvostól és a teológusok többségétől eltérően – témája megválasztásakor nem kell figyelembe vennie, hogy mennyire sürgős a vizsgálandó probléma megoldása, s arra sem kell tekintettel lennie, hogy rendelkezésre állnak-e a megoldáshoz szükséges eszközök. Ebben a vonatkozásban is tanulságos lehet a természettudósok és a társadalomtudósok többségének az összevetése. Az előbbieket szinte sohasem, az utóbbiak gyakran próbálják kutatási témájuk – például a faji megkülönböztetés következményei vagy a gazdasági ciklus okai – kiválasztását

főleg azzal igazolni, hogy milyen nagy társadalmi jelentősége volna a sikeres megoldásának. Melyik csoporttól várható tehát a problémák gyorsabb megoldása?

Annak a hatását, hogy a tudományos közösségek el vannak szigetelve a társadalom egészétől, nagymértékben erősíti e közösség egy másik jellegzetessége, a szakmai képzés saját természetete. A zenész, a képzőművész vagy az író úgy sajátítja el mesterségét, hogy megismeri más művészeknek, elsősorban régebbi korok művészeinek a munkásságát. A tankönyvek másodlagos szerepet játszanak, kivéve az eredeti művek rövid összefoglalását vagy ismertetését szolgáló kézikönyveket. A természettudományban, a filozófiában és a társadalomtudományokban nagyobb a tankönyvirodalom jelentősége, de a tudományok oktatása során is olvastatnak a hallgatókkal az alapfokú egyetemi tanfolyamokon eredeti forrásmunkákat, részben a szakterület „klasszikusait”, részben korabeli tudósok egymásnak írt kutatási beszámolóit. Így a diákot, bármely tudományszakkal foglalkozik, állandóan tájékoztatják arról, hogy az általa választott tudományos közösség tagjai az idők folyamán milyen töméredek problémát próbáltak megoldani. Ami még fontosabb, újra meg újra azt tapasztalja, hogy e problémáknak több rivális és összeegyeztethetetlen megoldása van, végső soron tehát önállóan kell értékelnie a megoldásokat.

Vessük most össze mindezt legalább a jelenkori természettudományok helyzetével. Itt a diák harmad- vagy negyedéves koráig, tehát önálló kutatómunkája megkezdéséig elsősorban kézikönyvekre támaszkodik. Sok tudományos tanterv még a végzős hallgatóktól sem várja el, hogy nem kifejezetten diákoknak írt munkákat is olvassanak. Ha pedig kiegészítő olvasmányként mégis előírnak kutatási beszámolókat és monográfiákat, ezek a legfelső évfolyamokra és olyan írásokra korlátozódnak, amelyek többé-kevésbé ott kezdik, ahol a kézikönyvek abba hagyják. A tudósképzés legutolsó szakaszáig az eredeti tudományos közlemények helyét a rájuk épülő tankönyvek foglalják el. A képzésnek ezt a módját az teszi lehetővé, hogy a tudósok bíznak paradigmájukban, és így érthető, hogy kevés tudós akad, aki változtatni akarna az oktatás gyakorlatán. Miért is olvasná mondjuk a fizikushallgató Newton, Faraday, Einstein vagy Schrödinger eredeti munkáit, amikor számos korszerű kézikönyv sokkal rövidebb, pontosabb és rendszere-

sebb formában foglalja össze mindazt, amit e munkákról tudnia kell?

Néha túl sokáig tart ugyan az ilyenfajta oktatás, de – anélkül, hogy igazolni akarnánk – el kell ismernünk, hogy általában rendkívül hatékony. Igaz ugyan, hogy talán csak az ortodox teológiában ennyire korlátolt és merev az oktatás, de szinte tökéletesen felkészíti a tudóst a kézikönyvek által meghatározott hagyományt követő normál tudományos munkára, rejtvényfejtésre. S jól fölkészíti egy másik feladatra is, arra, hogy normál tudományos tevékenységével hozzájáruljon termékeny válságok előidézéséhez. Az oktatás természetesen magára a válságra már kevésbé készíti fel a tudóst. Habár az elhúzódó válság többnyire együtt jár azzal, hogy az oktatás rugalmasabbá válik, a tudósképzés általában nemigen alkalmas arra, hogy olyan embereket formáljon, akik könnyen rábukkannak valamilyen új megközelítési módra. Amíg azonban meg nem jelenik valaki egy új paradigmajelölttel – rendszerint fiatal vagy a tudományterületen nemrég dolgozó ember –, a képzés merevsége csak egyes kutatóknak van kárára. Ha a változás által érintett egész nemzedéket tekintjük, az egyéni merevség összeegyeztethető a szükséges paradigmaváltásra képes közöséggel. Különösen érvényes ez azokban az esetekben, amikor éppen a merevség lesz a tudományos közösség érzékeny műszere, amely jelzi, hogy valami nincs rendjén.

Szokásos állapotában tehát a tudományos közösség rendkívül hatékonyan oldja meg a paradigmája által meghatározott problémákat, illetve rejtvényeket. E problémák megoldásának eredménye pedig szükségképpen haladás. Ezen a téren nincs is probléma. Ez csak még jobban kiemeli a tudomány fejlődésével kapcsolatos kérdések másik fő csoportját. Lássuk tehát ezt a problémakört; és vizsgáljuk meg, hogy fejlődnek-e a tudományok a rendkívüli kutatások idején, és ha igen, hogyan? Mi a magyarázata annak, hogy a haladás a tudományos forradalmaknak is kétségtelenül általános velejárója? Ismét tanulságos lesz, ha feltesszük a kérdést: mi más lehetne egy forradalom eredménye? A forradalmak mindig a két szemben álló tábor egyikének teljes győzelmével végződnek. Mondhat-e mást a felülkerekedő csoport, mint hogy győzelmének eredménye haladás? Ha nem ezt állítaná, beismerné, hogy tévedett, és ellenfeleinek volt igaza. A győztesek számára a forradalom eredmé-

nye mindenképpen csak haladás lehet, és a győzteseknek igazán módjukban áll biztosítani, hogy közösségük jövőbeli tagjai is így lássák tudományáguk történetét. A XI. fejezetben részletesen leírtuk, milyen eszközökkel érik ezt el, és éppen az ímént említettük újra a tudományos életnek egy ezzel szorosan összefüggő, másik jellegzetességét. Amikor valamely tudományos közösség fölrad egy régi paradigmát, egyszersmind kiiktatja a tudományos tájékozódás forrásai közül az e paradigmához igazodó könyvek és cikkek többségét. A tudományos képzésben nincs helye a szépművészeti múzeumhoz vagy a klasszikus műveket tartalmazó könyvtárhoz hasonló intézménynek, ezért a tudós néha alapjában hamisan fogja fel tudományága múltját. Az alkotómunka más területein tevékenykedőknél inkább hajlamos arra, hogy tudománya történetét a jelenlegi magas szinthez vezető, egyenes vonalú eseménysornak, egyszóval fejlődésnek lássa. Nincs más lehetőség számára, amíg a pályán marad.

A fenti megjegyzések elkerülhetetlenül azt sugallják, hogy egy érett tudományos közösség tagja, akár Orwell 1984 című regényének tipikus szereplője az éppen uralkodó hatalmak által újraírt történelem áldozata. S ez nem is egészen képtelen ötlet. A tudományos forradalmak veszteséggel is járnak, nemcsak nyereséggel, és a tudósok különösképpen hajlanak arra, hogy ne vegyék észre a veszteségeket.³ A forradalmakon keresztül történő haladás magyarázata viszont nem állhat meg ezen a ponton. Ha az eddigiekkel beérnénk, elismernénk, hogy a tudományban az erő dönti el, kinek van igaza. Tulajdonképpen ez a megfogalmazás sem volna egészen helytelen, ha nem fedné el a paradigmaváltás folyamatának és a paradigmák közötti választást eldöntő tekintélynek a lényegét. Ha a paradigma körüli vitákban egyedül a tekintély, mégpedig a szakmán kívüli tekintély döntene, akkor e viták végeredménye esetleg forradalom lehetne, de nem tudományos forradalom. A tudománynak létfeltétele, hogy a paradigmák közötti választás egy sajátos jellegű közösség tagjainak kizárólagos joga legyen. Azt, hogy milyen speciálisnak kell lennie a tudományos közösségnek ahhoz, hogy a tudomány fennmaradjon és fejlődjék, mi sem bizonyítja jobban, mint hogy mily csekély befolyása van az embernek a tudományos tevékenységre. Minden ismert civilizációnak volt technikája, művészete, vallása, politikai rendszere, törvényei

stb. A civilizációnak ezek a mozzanatai sok esetben éppen olyan fejlettek voltak, mint a mieink. De csak az antik Görögországból származó civilizációk hoztak létre valamennyire is fejlett tudományt. A tudományos ismeretek zöme Európában alakult ki az elmúlt négy évszázad során. Máshol sehol és másol soha nem túrték el azokat az igen sajátos közösségeket, amelyeknek a léte elengedhetetlen feltétele a tudományos eredményeknek.

Mik e közösségek fő sajátosságai? Nyilvánvaló, hogy megismerésükhöz rengeteg további kutatásra van szükség. Ezen a területen csak nagyon óvatos általánosításokra van mód. Így sem nehéz azonban felfedeznünk néhány olyan követelményt, melynek köteleseleget tenni mindenki, aki tagja kíván lenni valamely tudományos közösségnek. Például: tudós csak az lehet, aki a természet működésével kapcsolatos problémák megoldásával foglalkozik. Továbbá: bármilyen átfogó is a természet iránti érdeklődése, csak részproblémákat kutathat. Még ennél is fontosabb, hogy csak olyan megoldásokat tekinthet kielégítőnek, amelyek nemcsak az ő egyéni mércéje, hanem sokak felfogása szerint is megoldásnak számítanak. Az a csoport azonban, amely ugyanazokat a követelményeket támasztja a megoldásokkal szemben, mint ő, nem lehet az egész társadalomból esetlegesen összeverődött részcsoporthoz, hanem élesen körülhatárolt közösség: a tudóssal szakmailag egyenrangú emberekből áll. A tudományos élet egyik legszigorúbb, bár íratlan szabálya szerint tudományos kérdésekben tilos államfőkhöz vagy a széles nagyközönséghez folyamodni. További következményei is vannak, ha elismerjük, hogy van egy tudományos kérdésekben egyedülilletékes szakmai csoport, és elfogadjuk, hogy e csoport kizárólagos joga a tudományos teljesítmények elbírálása. A közösség tagjait úgy kell tekinteni, mint akik közös képzésük és tapasztalataik folytán egyedüli letéteményesei a játékszabályoknak vagy az egyértelmű döntések valamilyen más, a játékszabályokkal egyenértékű alapjának. Ha kételkednénk benne, hogy a tudósoknak van ilyen közös értékelési alapjuk, akkor el kellene fogadnunk, hogy a tudományos teljesítményeket több, egymással összeegyeztethetetlen normarendszer szerint lehet megítélni. Így szükségképpen az is kérdésessé válna, hogy a tudományokban létezhet-e egyetlen igazság.

A tudományos közösségek e néhány közös jellemzőjét kizárólag a normál tudományos gyakorlatból merítettük, és nem is

tehattunk volna másképp: általában erre a tevékenységre készítik fel a tudósokat. Ez a néhány jellemző is elegendő ahhoz, hogy a tudományos közösségeket elhatárolja minden más szakmai közösségtől. Bár e jellemzők forrása a normál tudomány, magyarázatot adnak a közösség forradalmak, különösen pedig a paradigma körüli viták idején tanúsított viselkedésének sok sajátos vonására is. Már megállapítottuk, hogy az ilyen csoport a paradigmaváltást mindenképpen haladásnak tekinti. Most megtoldhatjuk ezt azzal, hogy bizonyos tekintetben már maga ez a felfogás is tényleg haladássá teszi a paradigmaváltást. A tudományos közösség úgy működik, hogy a paradigmaváltás révén képes a lehető legtöbb problémát a lehető legpontosabban megoldani.

Mivel a tudományos teljesítmény mértékegysége a megoldott probléma, és a tudományos közösség pontosan tudja, hogy melyek a már megoldott problémák, nem könnyű rávenni a tudósokat olyan szemlélet elfogadására, amely ismét megoldandó kérdéssé tesz számos, korábban megoldott problémát. Csak maga a természet rendítheti meg a szakmabeliek biztonságérzetét, ha problematikussá tesz bizonyos régebbi eredményeket. És még akkor is, ha ez már bekövetkezett, s megjelent egy új paradigmajelölt is, a tudósok mindaddig vonakodnak elfogadni, míg nem teljesül két elengedhetetlen feltétel. Először is, az új paradigmajelöltnek megoldást kell ígérnie bizonyos fontos és általánosan elismert problémákra, amelyeket másképp nem lehet megoldani. Továbbá, az új paradigma csak akkor elfogadható, ha azzal a reménnyel biztat, hogy a tudomány megőrzi az elődök révén szerzett konkrét problémamegoldó képességének viszonylag nagy részét. Az egyéb alkotótevékenységek többségétől eltérően, a tudomány számára az újdonság nem érték. Így, bár az új paradigmák ritkán vagy sohasem képesek mindarra, amire elődjeik képesek voltak, rendszerint sok mindent megőriznek a legkonkrétabb régi eredmények közül, és emellett mindig lehetővé tesznek új problémamegoldásokat is.

Mindezzel korántsem akarjuk azt állítani, hogy a problémamegoldó képesség a paradigmaválasztás egyetlen és egyértelmű alapja. Már több okát említettük, hogy miért nem létezhet ilyen kritérium. Az azonban igenis következik az elmondottakból, hogy a szaktudósok közössége mindent megtesz, hogy biztosítsa az összegyűjtött, pontosan és részletesen elemezhető

adathalmaz folytonos gyarapodását. A folyamat közben a közösség veszteségeket is szenved. Gyakran megesis, hogy néhány régi problémától meg kell szabadulni. A forradalom hatására sokszor leszűkül a közösség szakmai érdeklődési köre, fokozódik szakosodásának mértéke, és lazul kapcsolata más tudományos és laikus csoportokkal. A tudomány mélységében biztosan fejlődik, de kiterjedésében nem feltétlenül. S ha mégis, akkor ez főleg a tudományos szakterületek túlbujánzásában nyilvánul meg, és nem az egyes szakterületek hatókörének növekedésében. Ilyen és más veszteségek érik ugyan az egyes közösségeket, felépítésük és működési mechanizmusuk mégis biztosítja, hogy a tudomány folyton gyarapodjék mind a megoldott problémák száma, mind a megoldások pontossága tekintetében. Ha egyáltalán van ilyen biztosíték, mindenképpen a tudományos közösség természetében rejlik. Mi lehetne jobb kritérium, mint a tudományos közösség döntése?

Úgy gondolom, a fenti néhány bekezdés megmutatja, hogy milyen irányban kell keresni a tudományos haladással kapcsolatos kérdések árnyaltabb megoldását, sőt talán azt is jelzi, hogy a tudományos haladás nem egészen olyan, mint azelőtt gondoltuk. Másrészt annak is ki kell tűnnie, hogy amíg egyáltalán létezik tudományos tevékenység, valamilyen formában fejlődni is fog. A tudományokban nincs is szükség másféle haladásra. Vagy, hogy pontosabbak legyünk, talán jobban föl kell adni felfogásunkat, amely arra a kimondott vagy kimondatlan feltételezésre épül, hogy a paradigmaváltozások egyre közelebb viszik a tudósokat és tanítványaikat az igazsághoz.

Ideje, hogy észrevegyük: munkánkban egészen a legutóbbi lapokig az „igazság” kifejezés csak egy Francis Bacon-tól vett idézetben szerepelt. És most, tanulmányunk végén is csak a tudós ama meggyőződésének forrásaként merült fel az igazság fogalma, hogy nem létezhet egymás mellett a tudományos munka több, egymással összeegyeztethetetlen normarendszere, a forradalmi időszakokat kivéve, amikor pedig a tudományos közösség legfontosabb feladata éppen az, hogy egyetlen normarendszer kivételével az összes többit kiiktassa. A tanulmányunkból kirajzolódott fejlődési folyamat primitív kezdetektől indul, és egymást követő szakaszaira a természet egyre részletesebb és pontosabb megismerése jellemző. Másrészt viszont semmi olyasmit nem állítottunk, és nem is fogunk mondani, ami

azt sugallhatná, hogy e fejlődési folyamat valami *felé* tart. Bizonyára sok olvasót zavar majd ez a hiány. Mindannyiunk gondolkodásában mélyen gyökerezik az a hajlam, hogy a tudományban a természet által eleve kijelölt célhoz folytonosan közeledő vállalkozást lássunk.

De szükség van-e egyáltalán ilyen célra? Nem magyarázhatjuk-e a tudomány létezését és eredményeit a közösség mindenkori tudásszintjéből következő fejlődésre szorítkozva? Jelent-e tényleges segítséget, ha úgy képzeljük, hogy van a természetnek valamilyen teljes, objektív és igaz leírása, s a tudományos teljesítmény igazi értékmérője az, hogy mennyiben visz közelebb ehhez a végső célhoz? Ha megtanuljuk a tudomány fejlődését olyan folyamatnak tekinteni, amely a már meglévő valóságos tudásból indul ki, nem pedig az elérni vágyott tudás felé tart, akkor talán megszabadulunk sok nyomasztó problémától. Valahol ebben a labirintusban kell megtalálnunk például az indukció problémájának helyét is.

Még nem tudom pontosan, hogy milyen következményekkel jár a tudomány fejlődésének ez az új szemlélete. A felfogás itt javasolt átalakulása mindenesetre igen közel áll a Nyugaton éppen száz éve kezdődött szemléletváltáshoz. Különösen azért hasznos ez az összevetés, mert az átalakulás fő akadályá mindkét esetben ugyanaz. Amikor Darwin 1859-ben először hozta nyilvánosságra elméletét a természetes kiválasztódás útján történő evolúcióról, sok szakmabelit nem a fajok változásának gondolata zavart leginkább, még csak nem is az a lehetőség, hogy az ember a majmoktól származik. Évtizedeken át halmozódtak fel az evolúció bizonyítékai, beleértve az ember evolúcióját is, az evolúció gondolata pedig már Darwin előtt fölmerült, és széles körben el is terjedt. Bár maga az evolúció eszméje is ellenállásba, különösen bizonyos vallásos körök ellenállásába ütközött, a darwinistáknak korántsem ez okozta a legnagyobb nehézséget. Az a nehézség, amellyel valóban nem volt könnyű megküzdenuk, olyan gondolatokból származott, melyek nem is állnak olyan messze Darwin saját elképzelésétől. Az összes ismert Darwin előtti evolúciós elmélet – Lamarck, Chambers, Spencer és a német *naturfilozófusok* elméletei – valamilyen célra irányuló folyamatnak tekintették az evolúciót. Úgy gondolták, hogy az ember, a jelenlegi flóra és fauna „eszméje” az élet teremtése óta megvolt, talán isteni célként. Ez az eszme vagy

terv adta az egész evolúciós folyamat irányát és mozgatóerejét. Az evolúció minden egyes szakasza a kezdettől meglévő tervek tökéletesebb megvalósulása volt.⁴

Sokak szemében e teleologikus evolúció kiiktatása volt Darwin gondolatainak leglényegesebb és legkevésbé elfogadható mozzanata.⁵ *A fajok eredete* nem ismert el sem isten, sem a természet által kitűzött célt. Darwin ehelyett az adott környezetben éppen létező élő szervezetekre ható természetes kiválasztódással magyarázta a bonyolultabb, egyre jobban elkülönülő és mind speciálisabb szervezetek fokozatos, de rendszeres kialakulását. Még a funkciójuknak oly nagyszerűen megfelelő szervek is, mint az emberi szem vagy kéz – ezek célszerűsége korábban nyomós érv volt egy legfőbb alkotó és valamilyen előzetes terv létezése mellett –, még ezek a szervek is egy olyan állandó folyamat termékei lettek, amely primitív kezdetektől indult, de nem tart semmiféle cél *felé*. Darwin elméletének legnehezebben elfogadható és legzavaróbb eleme az a meggyőződés volt, hogy az ember, valamint a magasabb rendű állatok és növények a természetes kiválasztódás útján jöttek létre, olyan folyamat útján tehát, melynek forrása nem egyéb, mint az élőlények létért folytatott küzdelme. Mit jelent az „evolúció”, a „fejlődés” és a „haladás”, ha nincs meghatározott cél? Sokan önellentmondást fedeztek fel ezekben a fogalmakban.

Az élő szervezetek és a tudományos ismeretek fejlődése között vont analógia könnyen túlzó megállapításokhoz vezethet ugyan, de a jelen fejezetben előadottak tekintetében szinte hibátlan. A XII. fejezetben a forradalmak megoldásaként jellemzett folyamat lényege a következő: a tudományos közösségen belüli harc során kiválasztódik a tudomány művelésének legcélszerűbb módja. E forradalmi kiválasztódási folyamatoknak a normál kutatás időszakai által megszakított sorozata hozza létre végeredményben azt a bámulatosan célszerű eszközkészletet, amelyet modern tudománynak nevezünk. E fejlődési folyamat egymást követő szakaszait az jellemzi, hogy nő a tudományok elkülönülése és szakosodása. És az egész folyamat úgy ment végbe, ahogyan ezt a biológiai evolúció folyamatáról ma feltételezzük, azaz úgy, hogy nem létezett semmiféle kitűzött cél, semmiféle állandó, egyszer s mindenkorra rögzített tudományos igazság, amelynek a tudományos ismeretek fejlődésében egymásra következő szintek egyre jobb megvalósulásai lennének.

Akik mindeddig követték érvelésünket, ezek után is szükségesnek érezhetik annak a kérdésnek a megválaszolását, hogy mi az oka az evolúciós folyamatnak. Milyennek kell lennie a természetnek és benne az embernek, hogy egyáltalán lehetséges legyen a tudomány? Miért képesek a tudományos közösségek más területeken elérhetetlen, szilárd konszenzus kialakítására? Miért marad fenn minden paradigmaváltozáson keresztül ez a konszenzus? És végül, miért hoz a paradigmaváltozás mindig minden tekintetben tökéletesebb eszközt a korábban ismerteknél? Az első kivételével e kérdéseket egy szempontból már megválaszoltuk. Más szempontból azonban ugyanolyan megoldatlanok, mint fejtegetéseink kezdetén. Nemcsak a tudományos közösségnek kell különlegesnek lennie. A világnak, amelynek része e közösség, szintén egészen különleges jellegzetességekkel kell rendelkeznie; arról pedig, hogy milyennek kell lenniük e jellegzetességeknek, most sem tudunk többet, mint kezdetben. Ezt a kérdést azonban – milyennek kell lennie a világnak, hogy megismerhessük? – nem ez a tanulmány vetette föl. Ellenkezőleg, olyan régi, mint maga a tudomány, és megválaszolatlan is marad. E helyütt nem is kell választ találnunk rá. A tudomány fejlődésével kipróbáltan összeegyeztethető, bármely természetfelfogás az itt kifejtett evolúciós tudományfelfogással is összeegyeztethető. Mivel pedig ez a szemlélet összeegyeztethető a tudományos élet alapos megfigyelésével is, nyomós érvek szólnak alkalmazása mellett, amikor megkíséreljük megoldani a még fennmaradó temérdek problémát.

UTÓSZÓ – 1969

Közel hét év telt el a könyv első megjelenése óta.¹ Időközben kritikussaim észrevételei és saját további kutatásaim nyomán jobban megértettem az itt felvetett kérdések egy részét. Álláspontom alapján alig változott, de nézeteim első megfogalmazásában ma már sok olyan elemet találok, amely fölösleges nehézségeket és félreértéseket okoz. Mivel e félreértésekért részben én magam vagyok felelős, kiküszöbölésük olyan előnyökkel jár, hogy végül alapot nyújt a könyv új változatához.² Addig is örömmel használom fel ezt a lehetőséget, hogy felvázoljam a szükségessé vált javításokat, megjegyzéseket fűzök néhány ismételt megfogalmazott bírálathoz, és érzékeltsem, jelenleg milyen irányban fejlődik saját gondolkodásom.³

Eredeti szövegem számos fő nehézsége a paradigma fogalmához kapcsolódik, ezért legelőször ezekkel a nehézségekkel foglalkozom.⁴ Mindjárt az utószó 1. alfejezetében kifejtem, hogy kívánatos volna különválasztani ezt a fogalmat a tudományos közösség fogalmától, jelzem, hogy milyen úton lehet ezt elérni, és foglalkozom az ebből származó analitikus felosztás néhány lényeges következményével. Ezután azt mérlegetem, hogy mi történik, ha a paradigmákat egy *előzetesen meghatározott* tudományos közösség tagjainak viselkedését vizsgálva kutatjuk. Az eljárás hamarosan feltárja, hogy könyvünk nagy részében a „paradigma” kifejezést két különböző értelemben használtuk. Egyrészt, a vélekedéseknek, értékeknek, módszereknek stb. egy adott tudományos közösség minden tagja által elfogadott összességét jelenti. Másrészt ennek az összességnek egy bizonyos elemét jelöli: azokat a problémamegoldásokat, amelyeket modellként vagy példaként használnak, és így a további normál tudományos rejtvények megoldásának alapjaként explicit szabályokat helyettesíthetnek. A kifejezés első, szociológiai nevezhető jelentése a 2. alfejezet tárgya; a 3. alfejezetet pedig a példaként szolgáló régi eredmények együttesének tekintett paradigmáknak szenteljük.

A „paradigma” két értelme közül – legalábbis filozófiailag – a második a mélyebb, és az ennek jegyében tett állításaim a fő forrásai a könyv által kiválasztott vitáknak és félreértéseknek, különösen annak a vádnak, hogy a tudományt szubjektív és irracionális tevékenységnek tüntettem fel. Ezekkel a kérdésekkel a 4. és 5. alfejezetben foglalkozom. A 4. alfejezetben kimutatom, hogy nem helyénvaló a „szubjektív”, „intuitív” és hasonló kifejezések alkalmazása a tudásnak azokra az elemekre, amelyekről azt állítottam, hogy hallgatólagosan beágyazódtak a közösségen belül elfogadott példákba. Bár az ilyen tudás lényeges változtatás nélkül nem írható körül szabályokkal és kritériumokkal, mégis rendszeres, az idő által szentesített és bizonyos értelemben helyesbíthető tudás ez. Az 5. alfejezet ezt az érvelést két összeegyeztethetetlen elmélet közötti választásra alkalmazza, és arra a röviden kifejtett következtetésre jut, hogy az összemérhetetlen szempontokhoz ragaszkodó embereket különböző nyelvi közösségek tagjainak kellene tekinteni, és kommunikációs problémáikat fordítási problémaként kellene vizsgálni. Három kérdés megtárgyalása marad a 6. és 7. alfejezetre. A 6. alfejezetben azt a vádat mérlegelem, hogy az e könyvben kifejtett tudomány szemlélet keresztül-kasul relativisztikus. A 7. alfejezet annak vizsgálatával kezdődik, hogy – mint mondják – valóban gyengíti-e érvelésemet a deskriptív és a normatív mód-szerek összekeverése; végül néhány rövid megjegyzést teszek egy olyan témáról, amely önálló tanulmányt érdemel: a tudományon kívül hol és milyen mértékben lehet jogosult a könyv fő tételeinek alkalmazása?

1. A PARADIGMÁK ÉS A TUDOMÁNYOS KÖZÖSSÉGEK SZERKEZETE

A „paradigma” kifejezés már tanulmányunk elején megjelenik, és bevezetésének módja lényegében körben forgó okoskodás. Paradigma az, amit a tudományos közösség minden tagja elfogad, és megfordítva, az adott tudományos közösséget azok alkotják, akik elfogadják egy bizonyos paradigmát. Nem minden logikai kör hibás (az utószó végén igyekszem majd érveket találni egy hasonló szerkezetű okfejtés mellett), de ez valóságos nehézségek forrása. A tudományos közösségek elkülöníthetők

– és el is kell különíteni őket – anélkül is, hogy előzőleg igénybe vettük volna a paradigmák segítségét; a paradigmák tehát felfedezhetők úgy is, ha alaposan megvizsgáljuk egy adott tudományos közösség tagjainak viselkedését. Ezért, ha tanulmányomat átdolgoztam volna, a tudományos közösség szerkezetének tárgyalásával kezdődne; ez az utóbbi időben a szociológiai kutatás fontos témája lett, s a tudománytörténészek is kezdik komolyan venni. Az első, jórészt még kiadatlan eredmények alapján úgy tűnik, hogy az e munkához szükséges empirikus módszerek nem triviálisak, de egy részükkel már dolgoznak, a többi pedig minden bizonnyal kifejleszthető.⁵ A tudományos kutatók többségének nem okoz fejtörést, ha meg kell mondania, melyik közösséghez tartozik, mert magától értetődőnek tartják, hogy egy-egy szakterületnek nagyjából egyértelműen megfelel a velük foglalkozó tudósok egy-egy csoportja. Így most feltételezem, hogy sikerül majd megtalálni a tudományos közösségek azonosításának jobban rendszerezett eszközeit. Ahelyett tehát, hogy bemutatnám az előkészítő kutatások eredményeit, inkább megkísérlem röviden kifejteni a tudományos közösség intuitív fogalmát, hiszen nagyrészt erre épülnek könyvem korábbi fejezetei. Ezt a fogalmat ma széles körben használják a természettudósok, a szociológusok és a tudománytörténészek is.

E felfogás szerint egy tudományos közösség valamely tudomány szak művelőiből áll. Más területeken szinte példátlan mértékben hasonló a képzésük és a szakmai indulásuk; közben ugyanazt a szakirodalmat tanulmányozzák, és nagyjából ugyanazokat a tanulságokat vonják le belőle. Ennek az alapirodalomnak a határai általában azonosak egy bizonyos tárgykör határáival, és az egyes tudományos közösségeknek többnyire megvan a maguk területe. Egyes tudományterületeken több iskola, azaz tudományos közösség működik egyidejűleg, s ezek ugyanazt a tárgyat egymással összeegyeztethetetlen szempontok alapján közelítik meg. A tudományban azonban sokkal ritkébbak a különböző iskolák, mint más területeken; mindig versenyeznek egymással, és versenyük rendszerint hamar véget ér. Következésképpen egy adott tudományos közösség tagjai úgy tekintik magukat, és mások is úgy tekintik őket, mint akik egyedül felelősek közös céljaik eléréséért, beleértve utódaik felnevelését is. Az ilyen csoportokon belül viszonylag zavartalan a kommunikáció, és viszonylag egyöntetűek a szakmai ítéletek. Mivel

azonban különböző tudományos közösségek különböző témákra koncentrálnak, a csoportok közötti kommunikáció néha nehézkes, gyakran félreértésekhez vezet, és bizonyos idő után jelentős, korábban nem is sejtett nézeteltéréseket hozhat felszínre.

Ebben az értelemben természetesen különböző szintű közösségek léteznek. A legátfogóbb az összes természettudósok közössége. Nem sokkal alacsonyabb szinten helyezkednek el a fő tudományágakkal foglalkozók közösségei: a fizikusok, a kémikusok, a csillagászok, a zoológusok stb. E nagy csoportok esetében – a határterületeket kivéve – könnyű megállapítani, ki tartozik hozzájuk, és ki nem. Rendszerint bőven elegendő, ha tudjuk, hogy mely témából szerezték legmagasabb tudományos fokozatukat, mely tudományos testületek tagjai, és mely szakfolyóiratokat olvassák. Hasonló módszerekkel elkülöníthetők a fontosabb alcsoportok is: szerves vegyészek és köztük, mondjuk, fehérjevegyészek, szilárdtestfizikusok és részecskefizikusok, rádiócsillagászok stb. Empirikus nehézségek csak az eggyel alacsonyabb szinten jelentkeznek. Hogy egy friss példát vegyünk: nyilvános sikere előtt hogyan lehetett volna körülhatárolni a fágcsoportot? Ehhez meg kell figyelni, hogy kik vesznek részt a szakmai tanácskozásokon, publikáció előtt kikhez jutnak el a nyers kéziratok vagy kefelevonatok. A legtöbbet pedig a formális és informális kommunikációs csatornák vizsgálatából tudhatunk meg, beleértve azokat is, amelyek a levelezésekben és a hivatkozások egymáshoz kapcsolódásában fedezhetők fel.⁶ Úgy gondolom, hogy ezt a nehéz munkát el lehet és el is fogják végezni legalább a mai és a közelmúltbeli történeti anyagra vonatkozóan. Átlagban talán száztagú, néha jóval kisebb közösségeket kaphatunk eredményként. Kiderül majd, hogy az egyes tudósok, különösen a legtehetségesebbek, vagy egyidejűleg, vagy pályájuk különböző szakaszain rendszerint több ilyen csoportba sorolhatók.

A munkánkban felvázolt kép szerint ilyenfajta közösségek hozzák létre és erősítik meg a tudományos ismereteket. Paradigmán olyasvalamit értünk, amit egy-egy ilyen csoport minden tagja elfogad. Ha nem említettük volna a közös elem sajátosságait, aligha volna érthető a tudomány sok bemutatott aspektusa. Más aspektusok viszont érthetőek, bár ezekkel szövegem eredeti változatában nem foglalkoztam külön. Így tehát, mielőtt közvetlenül rátérnénk a paradigmákra, érdemes felso-

rolnunk néhány olyan kérdést, amely pusztán a tudományos közösség szerkezetére alapszik is leírható.

Ezek közül alkalmasint az a legszembetűnőbb, amit korábban egy tudományterület fejlődésének paradigma előtti szakaszáról a paradigma utáni szakaszra való átmenetnek neveztem. Ezt az átmenetet a II. fejezetben ismertettem vázlatosan. Az átmenet előtt több iskola verseng a szóban forgó tudományterület feletti uralomért. Utána, valamilyen jelentős tudományos eredmény nyomán, az iskolák száma tetemesen csökken, sőt legtöbbször csak egy marad, és kialakul a tudományos kutatás hatékonyabb módja. Ez általában ezoterikus, rejtvényfejtésre irányuló kutatási gyakorlatot jelent, s csak akkor lehetséges, ha a közösség tagjai biztosnak tekintik tudományterületük alapjait.

Az érettség szakaszába való átmenet bővebb tárgyalást érdemel, mint amilyenben a könyvben részesült; ez elsősorban azoknak a kutatóknak a feladata, akik a jelenkori társadalomtudományok fejlődésével foglalkoznak. E cél elérését elősegítheti, ha rámutatunk, hogy az átmenetet nem kell (ma már úgy gondolom, hogy nem is szabad) összekötni egy paradigma első megjelenésével. Minden tudományos közösségnek, a „paradigma előtti” korszak tudományos iskoláinak is, vannak olyasféle közös szempontjai, amelyeket a „paradigma” összefoglaló elnevezéssel jelöltem. Az érettség szakaszába való átmenettel járó változás nem az, hogy megjelenik egy paradigma, hanem inkább az, hogy megváltozik a paradigma lényege. Csak e változás után válik lehetővé a normál rejtvényfejtő kutatás. Ennek megfelelően a fejlett tudományok számos elengedhetetlen sajátosságát, amelyet korábban a paradigma megszerzésével kapcsoltam össze, ma inkább olyan paradigma kialakulásának következményeként tárgyalnám, amely érdekes rejtvényeket jelöl ki, kulcsot ad a megoldásukhoz, és szavatolja az igazán tehetséges kutató sikerét. Valószínűleg csak azok érzik át, hogy a változással valami lényeges dolgot is feláldoztak, akik bátorságot merítenek abból a felismerésből, hogy tudományuknak (vagy iskolájuknak) van paradigmája.

Egy másik kérdés – legalábbis a tudománytörténések számára – még fontosabb: könyvemben kimondatlanul feltételeztem, hogy kölcsönösen és egyértelműen megfeleltethető minden egyes tudományos közösségnek egy-egy tudományos tárgykör. Nem egyszer úgy jártam el, mintha – mondjuk – a „fizikai

optika", a „villamosságtan" és a „hőtan" szükségképpen tudományos közösséget jelentene, mivel ezek a tudományágak egy-egy kutatási területet jelölnek. Úgy tűnt, hogy tanulmányom szövege ezenkívül csak azt az értelmezést engedte meg, hogy mindezek a témák a fizikusok közösségére tartoznak. Csak-hogy, mint tudománytörténész kollégáim ismételten rámutattak, az ilyenfajta azonosítások nem tarthatók. Például a fizikusok közössége csak a XIX. század közepén alakult ki, mégpedig két, addig különálló közösség, a matematika és a természetfilozófia (*physique expérimentale*) összeolvadása révén. Azt, ami ma egyetlen kiterjedt közösség kutatási területe, régebben különböző közösségek koronként más és más módon osztották fel maguk között. Más, szűkebb tárgykörök, például a hőtan vagy az anyagelmélet, hosszú ideig léteznek anélkül, hogy valamely tudományos közösség speciális szakterületévé váltak volna. A normál tudománynak és a tudományos forradalmaknak ennek ellenére közösségek a hordozói. E tevékenységi formák feltárásához és elemzéséhez először is tisztázni kell, hogyan változik a tudományos közösségek szerkezete. Mindenekelőtt egy paradigma nem egy témát, hanem inkább a kutatók egy csoportját irányítja. Akár paradigma által irányított, akár paradigmát megrendítő kutatást vizsgálunk, az első lépés feltétlenül az, hogy körülhatároljuk a kutatást végzők csoportját vagy csoportjait.

Ha így kezdjük a tudomány fejlődésének elemzését, valószínűleg elhárul több olyan nehézség, amelyek eddig a bírálatok fő célpontjai voltak. Sok bíráló az anyagelmélet példáján igyekezett bizonyítani, hogy erősen túlzok, amikor azt állítom, hogy a tudósok egységesen ragaszkodnak egy paradigmához. Ezek az elméletek, hangsúlyozzák, a legutóbbi időig szüntelen nézeteltérések és viták tárgyai voltak. Elfogadom a megfogalmazást, de úgy gondolom, ez nem ellenpélda. Az anyagelmélet, legalábbis az 1920 körüli időig, nem volt egyetlen tudományos közösség kizárólagos szakterülete vagy kutatási témája sem. Sok csoport használta ezeket az elméleteket kutatási eszközként. Különböző közösségek tagjai néha különböző eszközöket választottak, és bírálták a többiek választását. Még fontosabb, hogy az anyagelmélet nem olyan téma, amelyet illetően akár egyetlen közösség tagjainak is szükségképpen azonos nézeteket kell vallaniuk. Az egyetértés szükségessége attól függ, hogy

mivel foglalkozik a közösség. Jó példa erre a kémia helyzete a XIX. század első felében. Bár Dalton atomelmélete nyomán néhány alapvető eszköz – az állandó súlyviszony, a többszörös súlyviszony és az egyenértéksúlyok – a közösség közkincsévé lett, a kémikusok ezután is nyugodtan megtehették, hogy munkájukat ezekre az eszközökre alapozzák, és – néha nagyon hevesen – vitatkozzanak az atomok létezéséről.

Úgy gondolom, hogy a többi nehézség és félreértés egy része hasonló módon kiküszöbölhető. Részben a kiválasztott példák alapján, részben pedig azért, mert nem határoztam meg pontosan, hogy milyen jellegű és mekkora közösségekre gondolok, a könyv néhány olvasója arra a következtetésre jutott, hogy elsősorban vagy kizárólag az olyan nagy forradalmakkal foglalkozom, mint amelyek Kopernikusz, Darwin, Newton vagy Einstein nevéhez fűződnek. Egyáltalán nem ez volt a célom. S a tudományos közösség szerkezetének egyértelműbb leírása elősegítené e benyomás megváltoztatását. A forradalom szerintem a változásoknak egy sajátos válfaja, amely együtt jár a csoport elkötelezettségének bizonyos átalakulásával. Ez azonban nem jelent szükségképpen nagy változást, s lehet, hogy az esetleg még huszonöt fónél is szűkebb közösségen kívül sem látják forradalmi. Épp ezért kell végre megértenünk, mi is a forradalmi változás, szemben a kumulatív változással, mert az effajta változás (melyet oly ritkán ismernek fel és elemeznek a tudományfilozófusok) rendszerint éppenséggel kisarányú.

Még egy, az előbbivel szorosan összefüggő módosítás is megkönnyítheti talán a forradalmi változás megértését. Több bíráló kételkedett abban, hogy a válság és annak általános felismerése, hogy valami baj van, oly elmaradhatatlan előkészítője volna a forradalomnak, mint tanulmányom eredeti szövege sugallja. Érvelésemnek egyetlen lényeges része sem épül azonban arra a feltevésre, hogy a válságok léte elengedhetetlen feltétele volna a forradalmaknak; a válság csak a forradalom szokásos előjátéka, önszabályozó mechanizmus, amely gondoskodik róla, hogy ne maradjon örökké kikezdhetetlen a normál tudomány merev gyakorlata. Másképp is előidézhető forradalmak, de azt hiszem, ritkán. Kiegészítésképpen szeretném felhívni a figyelmet még valamire, ami a tudományos közösségek szerkezetének megfelelő tárgyalása híján tanulmányom szövegében homályban maradt: a válságot nem feltétlenül a közösség hozza

létre, amely kénytelen szembenézni vele, és amely, ennek eredményeként, néha a forradalmat is átéli. Megtörténhet, hogy valamelyik szakterület válságát egy másik szakterületen kifejlesztett új eszközök (például az elektronmikroszkóp) vagy új törvények (például a Maxwell-féle törvény) átvétele váltja ki.

2. A PARADIGMÁK MINT CSOPORTOS ELKÖTELEZETTSÉGEK

Térjünk most át a paradigmákra, és tegyük fel a kérdést, mik is lehetnek! Ez a leghomályosabb és a legfontosabb az eredeti szövegben nyitva maradt kérdések közül. Egy fogékony olvasó, aki osztja azt a meggyőződésemet, hogy a „paradigma” a könyv legfőbb filozófiai alapfogalmainak a közös neve, részleges elemző tárgymutatót készített a szöveghez, és arra az eredményre jutott, hogy a kifejezést legalább huszonkét különböző értelemben használtam.⁷ Ma már úgy gondolom, hogy a különbségek többsége fogalmazási következetlenségekkel magyarázható (például Newton törvényei hol paradigmaként, hol egy paradigma részeiként, hol pedig paradigmatisztikus jellegüként szerepelnek), és viszonylag könnyen kiküszöbölhető. De e szerkesztői munka elvégzése után még mindig megmaradna a terminus két igen eltérő használata, ezeket külön kell választani. A kifejezés átfogóbb használatával foglalkozunk ebben az alfejezetben, másik használatát a következőben vesszük szemügyre.

Miután az imént bemutatott módszerekkel körülhatároltunk egy bizonyos szakmai közösséget, hasznosnak tűnik feltennünk a kérdést: miben értenek egyet a csoport tagjai, ami megmagyarázza a szakmai kapcsolatok viszonylagos bőséget és a szakmai ítéletek viszonylagos egyöntetűségét? Eredeti szövegem szerint a válasz: egy paradigmában vagy paradigmahalmazban. Csak-hogy a „paradigma” terminus használata ebben az összefüggésben – szemben másikkal, alább bemutatandó használatával – nem helyénvaló. Maguk a tudósok azt válaszolnák, hogy egyetértenek egy elméletben vagy elmélethalmazban: örülnék, ha a terminust ebben az értelemben végül újra használhatnók. A tudományfilozófia azonban az „elmélet” szóval általában az itt szükségesnél jóval korlátozottabb jellegű és körű struktúrát jelöl. Amíg nem sikerül megtisztítani a terminust elterjedt mellék-

jelentéseitől, a fogalomzavar elkerülése végett másikat alkalmazunk. Mostani céljainkra a „szakmai mátrix” kifejezést javaslom: „szakmai” (*disciplinary*), mivel valamely tudomány szakmáinak közös meggyőződésére vonatkozik; „mátrix”, mivel különféle rendezett elemekből áll, s ezek mindegyike további részletezésre szorul. A csoportos elkötelezettség minden vagy legtöbb tárgya, amely eredeti szövegemben paradigmaként, paradigma részeként vagy paradigmatisztikus jellegüként szerepel, alkotóeleme a szakmai mátrixnak, s maguk ezek az elemek együtt oszthatatlan egységet alkotnak, együtt fejtik ki hatásukat. Ennek ellenére már nem tárgyalhatók úgy, mintha mind egyformák volnának. Itt meg sem kíséreltem teljes felsorolásukat, de leírva a szakmai mátrix összetevőinek fő fajtáit, egyrészt világosabbá teszem jelenlegi álláspontomat, másrészt előkészítem következő témámat.

Az összetevők egyik fontos csoportját „szimbolikus általánosításoknak” fogom nevezni. Azokra a kifejezésekre gondolok, amelyeket a tudományos közösség tagjai kétely és nézeteltérés nélkül alkalmaznak, s ilyenféle logikai formába önthetők: $(x) (y) (z) \phi (x, y, z)$. Ezek a szakmai mátrix formális vagy könnyen formalizálható elemei. Néha már eleve szimbolikus formát öltenek: $F = ma$ vagy $I = U/R$. Mások szóbeli megfogalmazásban szerepelnek: „az elemek állandó súlyarányok szerint vegyülnek”, vagy „a hatás egyenlő az ellenhatással”. Ha a „szimbolikus általánosításokat” nem támasztanak alá ilyen általánosan elfogadott kifejezések, akkor a közösség tagjainak rejtvényfejtő munkájuk során nem volna mihez kapcsolniuk a hatékony logikai és matematikai műveleti módszereket. Bár a taxonómia példája azt sugallja, hogy a normál tudományos munkához elegendő lehet néhány ilyen kifejezés, úgy tűnik, hogy általában annál nagyobb egy tudomány teljesítőképesége, mennél több szimbolikus általánosítás áll művelői rendelkezésére.

Ezek az általánosítások természeti törvénynek látszanak, de a csoport tagjai számára gyakran nemcsak ez a szerepük. Van, amikor valóban nem egyebek természeti törvényénél. Gondoljunk például a Joule–Lenz-törvényre: $Q = RI^2t$. Amikor ezt a törvényt felfedezték, a közösség tagjai már tudták, hogy mit jelent a Q , az R , az I és a t , s ebből az általánosításból egyszerűen megtudták valamit a hő, az elektromos áram és az ellenállás viselkedéséről, amit korábban nem ismertek. Gyakori azonban

– ahogy a könyvünk fejtegetéseiből kiderült –, hogy a szimbolikus általánosítások egyszersmind egy másik célt is szolgálnak. Ez a tudományfilozófusok elemzéseiben rendszerint élesen elkülönül az előzőtől. Az olyan kifejezések, mint $F = ma$ vagy $I = U/R$ részben törvényként, részben azonban a bennük szereplő szimbólumok definíciójaként szerepelnek, sőt törvényt kifejező és fogalmakat definiáló, elválaszthatatlan funkciójuk között az arány idővel meg is változik. Más összefüggésben hasznos volna e kérdések részletes elemzése, ugyanis lényegi különbség van egy törvény elfogadása és egy definíció elfogadása között. A törvények gyakran fokozatosan javíthatók, de a definíciók – mivel tautológiák – nem. Például az Ohm-törvény elfogadása többek között azt is megkívánná, hogy újradefiniálják az „áramerősség” és az „ellenállás” fogalmát. Ha ezek a kifejezések továbbra is azt jelentették volna, mint azelőtt, akkor az Ohm-törvény nem lehetett volna igaz; ez az oka annak, hogy sokkal hevesebb ellenállásba ütközött, mint mondjuk a Joule–Lenz-törvény.⁸ Valószínűleg tipikus ez a példa. Általában azt gyanítom, hogy minden forradalommal együtt jár – egyebek között – az olyan általánosítások feladása is, amelyeknek az érvényessége előzőleg részben tautologikus tekintélyükön alapul. Einstein azt mutatta ki, hogy az egyidejűség viszonylagos, vagy pedig magát az egyidejűség fogalmát változtatta meg? Azok pedig egyszerűen tévedtek, akik „az egyidejűség relativitása” megfogalmazásban paradoxont láttak?

Térjünk most át a szakmai mátrix összetevőinek második csoportjára! Erről eredeti szövegemben is sok szó esett „metafizikai paradigmák” vagy „paradigmák metafizikai részei” címszó alatt. Ilyenfajta, a közösség minden tagjára kötelező vélekedésekre gondolok: a hó a testek alkotórészeinek kinetikus energiája; minden észlelhető jelenség vagy az űrben elhelyezkedő, minőségileg semleges atomok kölcsönhatásának, vagy az anyagnak és az erőnek, vagy tereknek a következménye. Ha ma átdolgoznom könyvem, az ilyenfajta, kötelezőként elfogadott vélekedéseket bizonyos modellekben való hitként írnám le, és a modell fogalmát kiterjeszteném, hogy viszonylag heurisztikus változatok is beleférjenek: az elektromos áramkör állandósult hidrodinamikai rendszernek tekinthető; a gázmolekulák véletlenszerű mozgást végző, apró, rugalmas biliárdgolyóknak tekinthetők. Bár a csoportos elkötelezettség ereje változik (legke-

vésbé kötelező erejűek a heurisztikus, leginkább az ontológiai modellek), s e változások nem jelentéktelenek, a különböző modellek mind hasonló szerepet játszanak. E modellek adják a közösség által előnyben részesített vagy megengedhetőnek ítélt analógiákat és metaforákat. Ezáltal elősegítik annak meghatározását, hogy mit fogadnak el majd magyarázatként és egy rejtvény megoldásaként, viszont részben a modellekre támaszkodva határozzák meg a még megoldatlan rejtvényeket és az egyes rejtvények viszonylagos fontosságát is. Megjegyezzük azonban, hogy a tudományos közösségek tagjainak még közös heurisztikus modelljeik sincsenek feltétlenül, bár legtöbbször vannak. Említettem már, hogy a XIX. század első felében olyanok is tagjai lehettek a kémikusok közösségének, akik nem hittek az atomokban.

A szakmai mátrix elemeinek harmadik csoportját itt értékeknek fogom nevezni. Az értékeket rendszerint több különböző közösség fogadja el, mint akár a szimbolikus általánosításokat, akár a modelleket, és az értékeknek nagy szerepük van az összes természettudós közösségi tudatának kialakításában. Bár az értékek mindig ellátják feladatukat, rendkívüli fontosságuk akkor válik nyilvánvalóvá, amikor egy közösségnek fel kell ismernie a válságot, vagy később választania kell a kutatás egymással összeegyeztethetetlen módjai között. A legmélyebben gyökerező értékek alkalmasint az előrejelzésekkel kapcsolatosak: az előrejelzéseknek pontosnak kell lenniük; a kvantitatív előrejelzések vonzóbbak a kvalitatívaknál; bármi is a megengedhető hibahatár, egy adott területen belül be kell tartani; stb. Más értékeket egész elméletek megítélésekor alkalmaznak: az elméleteknek mindenekelőtt lehetővé kell tenniük rejtvények megfogalmazását és megoldását; lehetőleg egyszerűnek, belső elmentmondástól mentesnek és plauzibilisnek, azaz az általánosan alkalmazott egyéb elméletekkel összeegyeztethetőnek kell lenniük. (Ma már eredeti szövegem egyik gyenge pontjának tartom, hogy a válságok forrásainak és az elmélet kiválasztásában szerepet játszó tényezőknek a vizsgálatok túl kevés figyelmet fordítottam olyan értékekre, mint a belső és a külső konzisztencia.) Léteznek egyéb értékek is – például a tudománynak társadalmilag hasznosnak kell lennie (vagy nem kell hasznosnak lennie) –, de az előbbiek már eléggé jelzik, hogy mire gondolok.

Van azonban a közös értékeknek egy külön is említendő mozzanatuk. A szakmai mátrix többi eleménél jóval nagyobb

mértékben egyetérthetnek az értékeket illetően olyanok is, akik másként alkalmazzák őket. A pontosságot egy adott közösségben viszonylag – bár nem teljesen – változatlanul ítélik meg különböző időpontokban, s a csoport tagjai között sincs nagy eltérés ebben a tekintetben. Az egyszerűség, a belső ellentmondás-mentesség, a plauzibilitás stb. megítélése azonban sokszor egyénenként nagyon változó. Ami Einstein szerint a régi kvantumelméletben a normál tudomány működését lehetetlenné tevő, tarthatatlan belső ellentmondás volt, azt Bohr és mások előreláthatólag a normál tudomány eszközeivel megoldható nehézségnek tartották. Még fontosabb, hogy azokban a helyzetekben, ahol értékeket kell alkalmazni, gyakran csupán az értékek különbözőségéből is különböző döntések következnek. Lehet, hogy egy elmélet pontosabb, de kevésbé konzisztens vagy plauzibilis, mint egy másik; a régi kvantumelmélet erre is jó példa. Összefoglalva, bár az értékeket illetően sok tudós egyetért, továbbá az irántuk való elkötelezettség tudományosan mélyen gyökerezik és meghatározó erejű, az értékek alkalmazását mégis jelentős mértékben befolyásolják a csoport tagjait megkülönböztető egyéni személyiségjegyek és életrajzi sajátosságok.

Sok olvasóm a közös értékek működésének ebben a jellegzetességében látta álláspontom egyik fő gyengeségét. Némelyek azzal vádolnak, hogy a szubjektivitást, sőt az irracionális dicsőítem, mert makacsul azt bizonygatom, hogy az, ami a tudósok véleményében közös, még nem elegendő az egységes álláspont kialakításához olyan kérdésekben, mint a rivális elméletek közötti választás vagy a közönséges és a válságot kiváltó anomáliák megkülönböztetése.⁹ Ez a vélemény azonban figyelmen kívül hagyja az értékítéletek két általános jellemzőjét. Először: a közös értékek akkor is jelentősen befolyásolhatják a csoport viselkedését, ha a csoport tagjai nem egyformán alkalmazzák őket. (Ha nem így állna a dolog, nem léteznének *speciális* filozófiai problémák az értékelmélettel vagy az esztétikával kapcsolatban.) Abban a korban sem festett minden festő egyformán, amikor az ábrázolás elsődleges érték volt, de ennek az értéknek a feladásával gyökeresen megváltozott a képzőművészet fejlődési sémája.¹⁰ Gondoljunk csak arra, hogy mi történne a tudományokban, ha az ellentmondás-mentesség többé nem lenne elsődleges érték! Másodsor: a közös értékek alkalmazási módjában tapasztalható egyéni eltérések a tudomány számára

nélkülözhetetlen feladatokat is betölthetnek. Ahol az értékeket alkalmazni kell, ott kockázatot is kell vállalni. A legtöbb anomália megszüntethető a normál tudomány eszközeivel; a javasolt új elméletek többsége tévesnek bizonyul. Ha a közösség minden tagja minden egyes anomáliára mint válságforrásra reagálna, vagy kapva kapna minden egyes elméleten, amelyet valamelyik kollégája kifejt, megszűnne a tudomány. Ha viszont senki sem reagálna az anomáliákra vagy a gyökeresen új elméletekre nagy kockázattal járó módon, akkor ritkán vagy sohasem következnenek be forradalmak. Lehet, hogy ilyen esetekben, amikor inkább közös értékek, mint közös szabályok vezérlik az egyéni döntést, a közösség ily módon osztja meg a kockázatot, és biztosítja tevékenységének sikerét hosszú időre.

Térjünk át most a szakmai mátrix alkotóelemeinek negyedik csoportjára. Nem mintha ezzel kimerítenők az alkotóelemek fajtáit, de itt ezt tárgyalom utolsóként. Mind nyelvészetileg, mind elméletem előtörténete szempontjából tökéletesen illene erre a „paradigma” kifejezés; a csoport közös elkötelezettségeinek éppen ez az alkotóeleme készített annak idején rá, hogy ezt a szót válasszam. Mivel azonban a terminus később önálló életet kezdett, most „példázattal” (*exemplar*) fogom helyettesíteni. Először is azokat a konkrét problémamegoldásokat értem ezen, amelyekkel a diákok tudományos képzésük során akár a laboratóriumokban, akár a vizsgákon, akár a tudományos kézikönyvek egyes fejezeteinek végén találkoznak. E közös példákat ki kell még egészíteni a folyóiratcikkekben található gyakorlati problémamegoldásoknak legalább egy részével; ezekkel a tudósok már tanulmányaik befejezése után, kutatói pályafutásuk közben találkoznak, és részben ezeken a példákon tanulják meg, hogy miként végezzék munkájukat. A tudományos közösségek mikrostruktúráját a szakmai mátrix összes alkotóeleme közül leginkább példázathalmazok közötti különbségek határozzák meg. Például minden fizikus ugyanazoknak a példázatoknak az elsajátításával kezdi tanulmányait: megismeri többek között a ferde sík, a kúpíngá és a Kepler-féle keringési pályák problémáját; megtanulja bizonyos eszközök, mondjuk a nóniusz, a kaloriméter és a Wheatstone-híd használatát. Tanulmányaik előrehaladtával azonban a közös szimbolikus általánosításokat egyre inkább eltérő példázatokkal magya-

rázzák meg nekik. Például a szilárdtest-fizikusok is, térelmélettel foglalkozó fizikusok is használják a Schrödinger-egyenletet, de csak elemi alkalmazásai azonosak a két csoport számára.

3. A PARADIGMÁK MINT KÖZÖS PÉLDÁK

Ma már a paradigmát mint közös példát tartom e könyv legúj-szerűbb és legkevésbé megértett gondolatának. Ezért a példázatokra több figyelmet kell fordítani, mint a szakmai mátrix másfajta alkotóelemeire. A tudományfilozófusok rendszerint nem foglalkoznak azokkal a problémákkal, amelyekkel a diák a laboratóriumokban vagy a tudományos kézikönyvekben találkozik, mert úgy gondolják, hogy ezek csak arra valók, hogy segítségükkel a diák alkalmazza a gyakorlatban azt, amit már tud. E felfogás szerint a diák csak akkor képes problémákat megoldani, ha már elsajátította az elméletet és annak bizonyos alkalmazási szabályait. A tudományos ismeretek elméletben és szabályokban öltenek formát; a problémák arra valók, hogy fejlődjék az elmélet és a szabályok alkalmazására való készség. Én ezzel szemben megpróbáltam bizonyítani, hogy helytelen a tudomány kognitív tartalmának ilyen leszűkítése. Ha a diák már sok probléma megoldásán túl van, akkor újabbak megoldásával valóban csak problémamegoldó képességét fejleszti. Kezdetben azonban, és később is még egy jó ideig, problémák megoldása közben fontos dolgokat tanul meg a természetről. Ilyen példázatok híján a korábban megismert elméleteknek és szabályoknak alig volna empirikus tartalmuk.

Hogy világosabbá tegyem, mire gondolok, röviden visszatérek a szimbolikus általánosításokhoz. Széles körben elfogadott példa Newton második mozgástörvénye, amelyet általában így fejeznek ki: $F = ma$. Ha a szociológus vagy a nyelvész észre is veszi, hogy egy adott közösség tagjai kétség nélkül mondják ki és fogadják a megfelelő kifejezést, hosszas további kutatások nélkül nem sokat tud meg arról, hogy mit jelent a kifejezés vagy a benne szereplő terminusok, és hogy a tudósok miként kapcsolják össze a kifejezést a természettel. Valójában önmagában abból a tényből, hogy vita nélkül elfogadják és logikai megmatematikai műveletek kiindulópontjaként használják, még nem következik, hogy egyetértenek jelentése vagy alkalmazása tekinteté-

ben. Természetesen sok tekintetben egyetértenek, vagy legalábbis kialakult eszmecseréjükből ezt fogják kiszűrni. Azt azonban joggal megkérdezhettük, hogy pontosan mikor és milyen eszközökkel érték el egyetértésüket? Hogyan tanulták meg, hogy egy adott kísérleti szituációban milyen releváns erőket, tömegeket és gyorsulásokat válasszanak ki?

Valójában, bár ritkán vagy sohasem említik a kérdésnek ezt az oldalát, az, amit a diákoknak meg kell tanulniuk, még ennél is bonyolultabb. Ugyanis nem egészen igaz, hogy közvetlenül az $F = ma$ kifejezésre alkalmazzák a logikai és matematikai műveleteket. Ha alaposabban megvizsgáljuk ezt a kifejezést, akkor csak törvényvázlatnak vagy törvénysémának bizonyul. Amikor a diák vagy a gyakorló tudós egy problémáról áttér a következőre, az ilyen műveletekre vonatkozó szimbolikus általánosítás megváltozik. Az $F = ma$ szabadesésnél $mg = ma^2/dt^2$ egyszerű ingánál $mg \sin \theta = ml d^2\theta/dt^2$ lesz, két egymásra ható harmonikus oszcillátor esetében pedig két egyenlet felel neki, s az első az $m_1 d^2s_1/dt^2 + k_1s_1 = k_2(s_2 - s_1 + d)$ képlettel írható le; még bonyolultabb esetekben, például a giroszkópnál, megint más alakokat ölt, és ezek rokonságát az $F = ma$ képlettel még nehezebb fölfedezni. Miközben a diák megtanulja megállapítani az erőket, a tömegeket és a gyorsulásokat a fizikai helyzetek olyan fajtájában, amellyel még nem találkozott, egyszersmind azt is megtanulja, hogyan szerkessze meg az $F = ma$ képletnek azt a változatát, amely a különböző folyamatokat összekapcsolja egymással, az így kapott változattal pontosan ebben a formában még nem volt dolga. Hogyan tanulta meg ezt?

A kérdés nyitja egy olyan jelenség, amelyet a természettudomány szakos hallgatók éppoly jól ismernek, mint a tudománytörténészek. Az előbbieket rendszeresen arról számolnak be, hogy végigolvasták és tökéletesen meg is értették tankönyvük egy fejezetét, de mikor a fejezet végén levő feladatok megoldására került sor, némelyiknél nehézségeik voltak. Ezek a nehézségek többnyire egyformán oldódnak meg: a diák tanára segítségével vagy a nélkül rájön, hogy miben hasonlít a feladat egy másikhoz, amellyel már volt dolga. Látván a hasonlóságot, megértve két vagy több probléma rokonságát, összefüggésbe tud hozni egymással bizonyos szimbólumokat, és korábban már eredményesnek bizonyult módon képes összekapcsolni őket a természettel.

A törvényvázlat, például az $F = ma$, eszközként működik: tájékoztatja a diákokat, hogy milyen hasonlóságokat kell keresnie, jelzi, hogy milyen alakban (*gestalt*) kell vizsgálni a helyzetet. Úgy gondolom, hogy a diák példaként szolgáló problémák megoldásának eredményeként – dolgozzék akár papíron ceruzával, akár jól megtervezett laboratóriumban – elsősorban azt a képességet sajátítja el, hogy különböző helyzeteket hasonlónak, az $F = ma$ vagy valamilyen más szimbolikus általánosítás alestének lásson. Bizonyos mennyiségű probléma megoldása után – ezek száma egyéenként nagymértékben változhat – az elé kerülő helyzeteket ugyanabban az alakban (*gestalt*) látja, mint az a tudós, aki viszont szakmai csoportja többi tagjával egyformán szemléli. Számára ezek immár nem ugyanazok a helyzetek, mint amikor tanulmányainak kezdetén találkozott velük. Időközben elsajátított egy kipróbált és a közösség által szentesített látásmódot.

A tudomány történetében jól kimutatható a hasonlóság révén felismert összefüggések szerepe. Bizonyos rejtvények megfejtésénél a kutatók korábbi megoldásokhoz igazodnak, nemegyszer csak elenyésző mértéken folyamodva szimbolikus általánosításokhoz. Galilei megállapította, hogy a lejtőn leguruló golyó éppen akkora sebességet vesz fel, amennyi elegendő ahhoz, hogy egy másik lejtőn, függetlenül annak meredekségétől, ugyanolyan magasra juttassa vissza, mint amilyen magasról indult; később pedig megtanulta ezt a kísérleti szituációt olyan ingához hasonlítani, amelynek ingasúlya pontoszerű tömeg. Azután Huygens megoldotta a fizikai inga rezgéstengelyének problémáját: az inga kiterjedéssel bíró testét Galilei-féle pontoszerű ingákból állónak képzelte, amelyek között a lengés bármely pontján azonnal megszakadhat a kapcsolat. Miután megszakadt a kapcsolat, az egyes pontoszerű ingák szabadon lengenek, de amikor mindegyik eléri legmagasabb kilengéspontját, közös súlypontjuk, a Galilei-féle ingához hasonlóan, csak olyan magasra emelkedik, amilyen magasról a kiterjedt inga súlypontja elindult lefelé. Végül Daniel Brenoulli rájött arra, hogy miként lehet összehasonlítani az egy nyílásból ömlő vízugarat Huygens ingájával. Határozzuk meg, hogy egy végtelenül kicsiny intervallumban mennyit süllyed a tartályban levő víz és a vízugar súlypontja. Most képzeljük el, hogy ezután minden egyes vízcsepe külön-külön az iménti intervallumban föl-

vett sebességével elérhető legnagyobb magasságig emelkedik! Az egyes részecskék súlypontjának emelkedése egyenlő kell hogy legyen a tartályban levő víz és a vízugar súlypontjának süllyedésével. Ez a szemlélet egy csapásra megoldotta az áramló folyadék sebességének régóta vizsgált problémáját.¹¹

Azt hiszem, hogy e példa nyomán kezd világossá válni, mire gondolok, amikor azt állítom, hogy a kutatók problémákon tanulják meg egymáshoz hasonlóan, ugyanazon törvény vagy törvényvázlat alá tartozónak látni a különböző helyzeteket. Ugyanez a példa azt is segít megértenünk, hogy miért tartom fontosnak azt a tudást, amelyre a hasonlósági összefüggés felismerése révén teszünk szert; ez a tudás azután elsősorban nem szabályokban vagy törvényekben, hanem fizikai helyzetek sajátos szemléletében fejeződik ki. A példánkban szereplő három probléma – mindhárom példázat a XVIII. századi mechanika számára – egyetlen természeti törvényre utal. Ezt a *vis viva* elveként ismert törvényt általában így fogalmazták meg: „A tényleges süllyedés egyenlő a potenciális emelkedéssel.” Abból, ahogyan Bernoulli alkalmazta a törvényt, jól látható, hogy milyen következményekkel járt. A törvény verbális megfogalmazása azonban önmagában gyakorlatilag hasznavehetetlen. Adjuk elő egy mai fizikushallgatónak, aki ismeri a benne szereplő szavakat, és mindezeket a problémákat meg tudja oldani, de most már másféle eszközöket alkalmaz! Azután képzeljük el, mit jelentenének a szavak egy olyan embernek, aki jól ismeri ugyan őket, de a problémákkal nem is találkozott. Számára az általánosítás csak akkor válik értelmessé, ha megtanulja, hogy a „tényleges süllyedés” és a „potenciális emelkedés” természeti tény, azaz ha a törvény megismerése előtt megtanul valamit arról, hogy milyen helyzetek fordulhatnak elő a természetben, s milyenek nem. Ilyen ismeretekre nem tehetünk szert kizárólag verbális eszközökkel, hanem inkább úgy alakulnak ki, hogy a szavakat és használatuk módjának konkrét példáit együtt sajátítjuk el; a természetet és a szavakat együtt tanuljuk meg. Ismét Polányi Mihály találó szavait idézve, e folyamat eredménye olyan „szótlán tudás”, amely inkább a tudomány művelése, mint a tudomány művelésére vonatkozó szabályok elsajátítása révén szerezhető meg.

4. A SZÓTLAN TUDÁS ÉS AZ INTUÍCIÓ

A szótlán tudás fogalmának bevezetésével és a szabályok szerepének ezzel összefüggő leértékelésével eljutottunk egy másik problémához, amely sok bírálómat zavarta, s a szubjektivitás és irracionalitás vádjának egyik alapja volt. Egyes olvasók szerint úgy próbáltam feltüntetni a tudományt, mintha inkább elemezhetetlen egyéni intuíciókra épülne, mint logikára és törvényre. Ez az értelmezés azonban két lényeges szempontból téves. Először is: ha egyáltalán beszélek intuíciókról, azok nem egyéni, hanem valamely sikeres csoport tagjainak szentesített közös meggyőződésai; a tudósjelölt neveltetése közben sajátítja el őket, amikor felkészül arra, hogy a csoport tagja legyen. Másodszor: nem elvileg elemezhetetlenek az intuíciók. Ellenkezőleg, mostanában éppen egy számítógépprogrammal kísérletezem, hogy elemi szinten megvizsgáljam az intuíciók sajátosságait.

Itt egyáltalán nem kell szólnom magáról a programról,¹² de pusztán említése is jelzi álláspontom lényegét. Amikor közös példázatokba ágyazott tudásról beszélek, nem a szabályokba, törvényekbe vagy azonosítási kritériumokba ágyazott tudásnál kevésbé rendszeres vagy kevésbé elemezhető ismeretekre gondolok, hanem olyanfajta tudásra, amelyet féreértünk, ha leírhatónak tekintjük először példázatokból elvonatkoztatott, majd a helyükbe lépő szabályokkal. Vagy ugyanezt másképp kifejezve, amikor arról beszélek, hogy példázatokból sajátítjuk el azt a képességet, hogy felismerjük: egy adott helyzet hasonló egy előzőleg ismert helyzethez, illetve eltér tőle, akkor nem olyan folyamatot tételezek fel, amelyet nem lehet elvileg teljes egészében megmagyarázni az agyidegsejtek működésével. Csupán azt állítom, hogy jellegét tekintve a magyarázat semmiképpen nem adhat választ erre a kérdésre: „Milyen szempontból hasonló?” Ez a kérdés valójában egy szabály után tudakozódik, jelen esetben a kritériumok után, amelyek alapján egyes helyzetek hasonlóságuk szerint csoportokba rendezhetők; én viszont azt állítom, hogy jelen esetben nem szabad engedni annak a kísértésnek, hogy ilyen kritériumokat (vagy legalább egy teljes csoportot) keressünk. Ezzel azonban nem általában a rendszer, hanem csak egy bizonyosfajta rendszer létezését tagadom.

Hogy érthetővé váljék, mire is gondolok, rövid kitérőt kell tennem. Az alábbi következő gondolatok ma már nyilvánvaló-

nak tűnnek ugyan számomra, de eredeti szövegemben vannak olyan állandó kitételek – „a világ megváltozik” stb. –, amelyek sejtetik, hogy ez nem mindig volt így. Ha két ember ugyanott áll és ugyanarra néz, akkor – a szolipszizmust elkerülendő – arra a következtetésre kell jutnunk, hogy teljesen hasonló ingerek érik őket. (Ha ugyanott lehetne a szemük, az ingerek azonosak lennének.) Csakhogy az emberek nem ingereket látnak; az ingerekre vonatkozó ismereteink nagyon elméleti jellegűek és elvontak. Az embereknek valójában érzeteik vannak, és semmi sem kényszerít arra a feltételezésre, hogy a két szemlélő érzetei azonosak. (A szkeptikusok gondoljanak csak arra, hogy a színvakságot sehol sem említik egészen Dalton 1794-ben megjelent leírásáig.) Ezzel szemben az inger felfogása és az érzet tudatosodása között sok folyamat zajlik le az idegrendszerben. Erről keveset tudunk biztosan, de a következőket igen: igen eltérő ingerek ugyanolyan érzeteket válthatnak ki; ugyanolyan inger igen eltérő érzeteket válthat ki; és végül, az ingertől az érzetig vezető út részben a neveltetéstől függ. Különböző társadalmakban felnőtt emberek néha úgy viselkednek, mintha különböző dolgokat látnának. Ha nem hajlanánk arra, hogy az ingereket és az érzeteket tökéletesen azonosnak tekintsük, akkor felismerhetnénk, hogy valóban mást látnak.

Most már kijelenthetjük, hogy két csoport, melynek tagjainál ugyanolyan ingerek hatására rendszeresen különböző érzetek jelennek meg, *bizonyos értelemben* különböző világban él. Ingerük létezését tételezzük, hogy megmagyarázzuk észleleteinket a világról, és az ingereket állandónak tételezzük, hogy elkerüljük mind az egyéni, mind a társadalmi szolipszizmust. E tételezéseket fenntartás nélkül el is fogadom. Világunk azonban nem ingerekből áll elsősorban, hanem érzeteink tárgyiból, ezek pedig már nem szükségképpen azonosak a különböző egyéneknél vagy csoportoknál. Természetesen minden okunk megvan feltételezni, hogy az ugyanahhoz a csoporthoz tartozó egyéneknek – akiknek ennek megfelelően közös a neveltetésük, nyelvük, tapasztalatuk és kultúrájuk – ugyanolyanok az érzeteik. Másképp hogyan magyarázhatnók azt, hogy teljes értékű kommunikáció lehetséges a csoport tagjai között, és környezetük hatáskörük közösségként reagálnak? Jórészt ugyanúgy kell látniuk a dolgokat és feldolgozniuk az ingereket. Ott azonban, ahol megkezdődik a csoportok elkülönülése és szakosodása, nincs

hasonló bizonyítékunk az érzetek állandóságára. Azt gyanítom, hogy csak szűk látóköriünk készítenek bennünket arra a feltevésre, hogy minden csoport tagjainál ugyanaz az út vezet az ingerektől az érzetekig.

Visszatérve a példázatokhoz és a szabályokhoz, munkámban a következő képet igyekeztem felvázolni, ha mégoly kezdetleges formában is. Az egyik alapvető módszer, amelynek segítségével valamely csoport tagjai – legyen ez a csoport egy egész kultúra vagy annak szakemberekből álló részcsoportja – megtanulják, hogy ugyanazokkal az ingerekkel találkozáva ugyanazokat a dolgokat lássák, amelyeket csoportbeli elődjük már megtanultak egymáshoz hasonlóan és más helyzetektől különbözőnek látni. Ezek a hasonló helyzetek lehetnek ugyanarra az egyedre vonatkozó, egymást követő érzéki benyomások – például a gyermek az anyját végül már azonnal felismeri, és megkülönbözteti az apjától vagy a nővérétől –, vagy természetes családok tagjaira – mondjuk egyrészt hattyúkra, másrészt libákra – vonatkozó benyomások, vagy – szakterületek szerint jobban elkülönült csoportok tagjainál – lehetnek példák a newtoni helyzetre, azaz olyan helyzetek, amelyek hasonlóak, mert leírhatók az $F = ma$ szimbolikus forma valamelyik változatával, és különböznek azoktól a helyzetektől amelyekre, mondjuk, az optika törvényvázlatai érvényesek.

Pillanatnyilag fogadjuk el, hogy valami ilyesmi történik! Azt kellene mondanunk, hogy példázatokból szabályok és a szabályok alkalmazására való képesség sajátítható el? Ez a leírás csábító, ugyanis az bizonyos, hogy amikor valamely helyzetet már ismert helyzetekhez hasonlóan látunk, ez csak valamiféle, teljes egészében fizikai és kémiai törvények által irányított idegrendszeri feldolgozási folyamat eredménye lehet. Ebben az értelemben ha egyszer megtanultuk felismerni az efféle hasonlóságot, akkor a felismerés szükségképpen olyan szabályos élettevékenység lesz, mint a szívverés. Éppen ez a párhuzam azonban azt sugallja, hogy a felismerés lehet önkéntelen reakció is, amely fölött nincs hatalmunk. S ha ilyen, akkor helytelen az az elképzelés, hogy szabályok és kritériumok alkalmazásával megoldható. Ez a felfogás azt jelentené, hogy szabadon választhatunk a lehetőségek közül, például megtehettük volna, hogy megszegünk egy szabályt, vagy rosszul alkalmazunk egy kritériumot, vagy másfajta látásmóddal próbálkozunk.¹³ Márpedig véleményem szerint éppen ez az, amit nem tehetünk.

Pontosabban, csak akkor tehetjük meg, ha már van valamiféle érzetünk, ha már ézékelünk valamit. Ilyenkor gyakran valóban kritériumokat keresünk, és alkalmazzuk is őket; értelmezni kezdünk, ez pedig mérlegelő eljárás: lehetőségek közül választunk, amit magában az érzékelés folyamatában nem tettünk. Például lehet, hogy valami szokatlan azzal kapcsolatban, amit láttunk (gondoljunk a rendellenes kártyákra). Egy sarkon befordulva anyánkat látjuk bemenni egy belvárosi boltba, előzőleg azt hittük, hogy ebben az időpontban otthon van. Elgondolkodva azon, amit láttunk, hirtelen felkiáltunk: „Ez nem lehetett a mama, hiszen neki vörös a haja!” Belépünk a boltba, újra látjuk az asszonyt, és nem értjük, hogyan is hihattuk a mamának. Vagy lehet, hogy a farktollait látjuk egy vízimadárnak, amint egy sekély medence fenekéről csipeget. Hattyú vagy liba? Elgondolkodunk azon, amit láttunk, gondolatban összehasonlítva a most látott farktollakat a korábban látott hattyúk és libák tollaival. Vagy – hiszen tudósunk készülünk – egyszerűen egy már könnyen felismerhető természetes család tagjainak valamely közös tulajdonságát (például a hattyúk fehérségét) akarjuk megismerni. Megint csak elgondolkodunk azon, amit láttunk, az adott család tagjainak közös vonásait keresve.

Mindezek mérlegelő eljárások, s ezeken belül tényleg kritériumokat meg szabályokat keresünk és alkalmazunk. Vagyis igyekszünk értelmezni a már rendelkezésünkre álló érzeteket, elemezni azt, ami már adott számunkra. Ezt tesszük ugyan, de közben végső soron mindenképpen olyan idegrendszeri folyamatok zajlanak le, amelyeket ugyanazok a *fizikai-kémiai* törvények irányítanak, mint egyrészt az érzékelést, másrészt a szívverést. Az a tény azonban, hogy a szervezet mindhárom esetben ugyanazoknak a törvényeknek engedelmeskedik, nem ok arra, hogy feltételezzük: idegrendszerünk úgy van beprogramozva, hogy az értelmezésnél ugyanúgy működjék, mint az érzékelésnél, vagy bármelyiknél ugyanúgy, mint a szívverésnél. Ennek megfelelően könyvemben szembeszálltam azzal a Descartes óta – de nem régebben – hagyományos próbálkozással, hogy az érzékelést értelmező folyamatként, annak tudattalan változataként elemezzék, amit már az érzékelés után csinálunk.

Az érzékelés integritását természetesen azért fontos hangsúlyozni, mert az idegrendszerben igen sok múltbeli tapasztalat halmozódik fel, s az ingereket ezek a tapasztalatok alakítják át

érzetekké. Az érzékelő mechanizmust a megfelelő programozás teszi képessé a fennmaradásra. Amikor azt mondjuk, hogy különböző csoportok tagjainak ugyanazokkal az ingerekkel találkozva különböző észleletei lehetnek, ez korántsem jelenti azt, hogy akármilyen észleleteik lehetnek. Bizonyos körülmények között az a csoport, amely nem tudná megkülönböztetni a farkasokat a kutyáktól, nem maradhatna fenn. Ma az atomfizikusok sem maradnának fenn tudóscsoportként, ha képtelenek volnának felismerni az alfa-részecskék és az elektronok nyomait. Éppen azért, mert oly kevés látásmód képes végül fennmaradni, azok, amelyek kiállták a tudományos közösség gyakorlatának próbáját, megérdemlik, hogy nemzedékről nemzedékre hagyományozódjanak. Az volt kiválasztásuk alapja, hogy sikeresnek bizonyultak egy bizonyos történelmi időszakon keresztül, ezért kell szólni azokról a természetre vonatkozó tapasztalatokról és ismeretekről, amelyek beépültek az ingertől az érzet-
hez vezető útba.

Talán nem a „tudás” a legmegfelelőbb szó, de nem ok nélkül élünk itt vele. Az ingereket érzetkévé átalakító idegrendszeri folyamatba beépült „tudás” jellegzetességei a következők: a nevelés közvetítésével öröklődött; kipróbálása után megállapították, hogy egy csoport tényleges környezetében hatékonyabb történelmi vetélytársainál; és végül, változhat a további tanulás során és akkor is, ha kiderül, hogy bizonyos pontokon nem felel meg a környezetnek. Ez a tudás jellegzetessége, ezért használok ezt a kifejezést. Csak hogy különös szóhasználat ez, ugyanis még egy sajátosság hiányzik. Közvetlenül nem hozzáférhető számunkra, amit tudunk, szabályokkal vagy általánosításokkal nem fejezhető ki ez a tudás. Azok a szabályok, amelyek hozzáférhetővé tehetnék, ingerekre vonatkoznak, nem érzetekre, az ingereket pedig csak bonyolult elmélet közvetítésével ismerhetjük meg. Ilyen elmélet híján az ingertől az érzet-
hez vezető útba ágyazott tudás „szótlan” marad.

Bár ez nyilvánvalóan csak bevezetés, és nem is biztos, hogy minden részletében pontos, azt, amit az érzetről az imént mondtunk, a szó szoros értelmében így gondoljuk. Legalábbis olyan feltevés a látásról, amely kísérleti kutatás tárgya lehetne, bár valószínűleg nem ellenőrizhető közvetlenül. A látás és az érzet ilyen tárgyalásának azonban ugyanúgy van átvitt értelme is, mint a könyvünk fő szövegében mondottaknak. Nem az elekt-

ronokat látjuk, hanem csak nyomokat vagy – másképp fogalmazva – gőzbuborékokat a ködkamrában. Egyáltalán nem a villanyáramot látjuk, hanem csak az ampermérő vagy a galvanométer mutatóját. Ennek ellenére tanulmányomban, különösen a X. fejezetben, nemegyszer úgy jártam el, mintha érzékelnék olyan elméleti entitásokat, mint az áram, az elektronok és a terek, mintha példázatok tanulmányozásából tanultuk volna meg érzékelné őket, és mintha ezekben az esetekben is helytelen volna látás helyett kritériumokról és értelmezésről beszélni. A „látást” ilyen összefüggésekre is átvivő szóképp aligha elegendő alap a fenti állításokhoz. Végül is ki kell majd küszöbölni ezt a metaforát a prózaibb előadásmód érdekében.

A fent említett számítógépprogram kezdi megmutatni, hogyan végezhető el ez a feladat, de itt hely hiányában és jelenlegi tudásom fogyatékoságai miatt nem nélkülözhetem a metaforát.¹⁴ Inkább megpróbálom megvédeni. Annak, aki nem ismeri a ködkamrát vagy az ampermérőt, a vízcseppecskék, illetve a numerikus skála előtt mozgó mutató egyszerű érzéki tapasztalat, amelyet előbb mérlegelni, elemezni és értelmezni kell (vagy külső tekintélynek kell beavatkozni ahhoz, hogy elektronokra, illetve villanyáramra vonatkozó következtetést lehessen levonni). Más azonban annak a helyzete, aki tanult ezekről a berendezésekről, és sok példaként szolgáló tapasztalatot szerzett használatuk során; ennek megfelelően másképp is dolgozza fel a berendezésektől hozzá érkező ingereket. Amikor egy hideg téli délutánon párás lehetét nézi, ugyanolyan érzete lehet, mint a laikusnak, de amikor a ködkamrát figyel, nem cseppecskéket lát (itt a szó szoros értelmében), hanem elektronok, alfa-részecskék stb. nyomait. Ha úgy tetszik, ezek a nyomok olyan kritériumok, melyeket a megfelelő-részecskék jelenlétét mutató jelekként értelmez a kutató, de az út rövidebb és más, mint a cseppecskéket értelmező laikus esetében.

Vagy gondoljunk arra a tudósra, aki ellenőrzi az ampermérőt, hogy megállapítsa, milyen számjegynél áll meg a mutató. Érzete valószínűleg ugyanolyan, mint a laikusé, főleg, ha az utóbbi már leolvasott másfajta mérőműszereket. A szakember azonban az egész áramkör összefüggésében látja (megint a szó szoros értelmében) a műszert, és tud valamit a belső szerkezetéről. Számára a mutató állása kritérium ugyan, de csak az áramerősség értékének kritériuma. Ahhoz, hogy értelmezhesse, csak

azt kell eldöntenie, hogy a mérőműszer melyik skáláját olvassa le. Ezzel szemben a laikus számára a mutató helyzete csak önmagának kritériuma. Ahhoz, hogy értelmezni tudja, meg kell vizsgálnia a belső és külső vezetékek elrendezését, telepekkel és mágnesekkel kell kísérleteznie, stb. Akár átvitt, akár szó szerinti értelemben használjuk a „látás” szót, az értelmezés ott kezdődik, ahol az érzékelés véget ér. A két folyamat nem azonos, az pedig, hogy az érzékelés után mit kell kiegészítésként elvégeznie az értelmezésnek, igen nagy mértékben az előzetes tapasztalat és gyakorlat jellegétől és mennyiségétől függ.

5. A PÉLDÁZATOK, AZ ÖSSZMÉRHETETLENSÉG ÉS A FORRADALMAK

A fentiek alapján még egy, munkámban tárgyalt kérdés világosabbá lesz: érthetőbbé válnak megjegyzéseim a paradigmák összemérhetetlenségéről és arról, hogyan nyilvánul meg ez az összemérhetetlenség a tudósoknak a régi és az új elmélet közötti választásáról folytatott vitáiban.¹⁵ A X. és a XII. fejezetben azt állítottam, hogy az ilyen viták során a két fél szükségképpen másképp lát bizonyos kísérleteket és megfigyeléseket, amelyeket mindkettő felhasznál. Mivel azonban a viták nyelve zömében azonos kifejezésekből áll, egyes kifejezéseket szükségképpen más módon vonatkoztatnak a természetre, és így kommunikációjuk csak részleges lehet. Következésképpen a vitában bizonyítható az egyik elmélet fölénye a másikkal szemben. Hangsúlyoztam, hogy a vitában részt vevők mindegyikének igyekeznie kell bizonyítás helyett meggyőzéssel megtérítenie a másikat. A filozófusok azonban súlyosan félreértelmezték e gondolatmenetem célzatát. Többen leírták, hogy szerintem¹⁶ összemérhetetlen elméletek hívei egyáltalán nem képesek kommunikálni egymással; ennek eredményeképpen az elméletek közötti választásról folyó vitában lehetetlen jó érveket használni; ehelyett az elméletet végül személyes és szubjektív indítékok alapján kell kiválasztani; a tényleges döntésért tehát valamilyen misztikus appercepció felelős. Az irracionális vádjá mindenekelőtt könyvemnek azokhoz a részleteihez kapcsolódik, amelyekre ezek a félreértések épülnek.

Nézzük először megállapításaimat a bizonyításról! A lényegük egyszerű, a tudományfilozófiában jó ideje ismert. Az elmélet kiválasztása körüli viták nem bonyolíthatók le a logikai vagy matematikai bizonyításhoz teljesen hasonló formában. A logikai vagy matematikai bizonyításban előre meghatározzák a premisszákat és a következtetési szabályokat. Ha nézeteltérés támad bizonyos következtetések tekintetében, a vitapartnerek minden egyes lépést megismételhetnek, összevetve őket az előzetes megállapodással. Végül valamelyik félnek el kell ismernie, hogy ő követett el hibát, megszegett egy korábban elfogadott szabályt. Ha már elismerte ezt, nincs többé kibúvó, és ellenfelének bizonyítása kényszerítő erejűvé válik. Ha azonban a két vitapartner rájön, hogy másképp vélekednek a megállapított szabályok jelentéséről vagy alkalmazásáról, és előzetes megegyezésük nem elégséges alap a bizonyításhoz, akkor a vita szükségképpen olyan formában folyik tovább, mint a tudományos forradalmak idején. A vita a premisszák körül zajlik, eszköze a meggyőzés, s ez teremtheti meg azután a bizonyítás lehetőségét.

E viszonylag jól ismert tételből semmi olyasmi nem következik, hogy nincsenek a másik fél meggyőzésére alkalmas jó érvek, vagy hogy végső soron nem ilyen indítékok határozzák meg a csoport döntését. Sőt tételünk még azt sem jelenti, hogy a választás indítékai különböznek azoktól, amelyek a tudományfilozófiai leírásokban általában szerepelnek: pontosság, egyszerűség, hatékonyság stb. Az azonban igenis következik belőle, hogy ezek az indítékok értéként szerepelnek, és így olyanok is, akik egyformán elfogadják őket, alkalmazásuk módjában eltérhetnek egymástól. Ha például két tudós nem ért egyet abban, hogy melyikük elmélete hatékonyabb, vagy ebben egyetértenek ugyan, de más a véleményük arról, hogy az elmélet közötti választáskor mennyire fontos azok viszonylagos hatékonysága, és, mondjuk, érvényességi köre, egyikre sem lehet rábizonyítani, hogy tévedett. Azt sem mondhatjuk, hogy egyikük tudománytalanul gondolkodik. Az elméletek közötti választásnak nincs semleges algoritmus, nincs olyan rendszeres döntési eljárás, amely – ha megfelelően alkalmazják – a csoport minden tagját feltétlenül ugyanahhoz a döntéshez vezeti. Ebben az értelemben valójában inkább a szakemberek közössége dönt, nem a csoport egyes tagjai. A tudomány tényleges fejlődésének meg-

ítéléséhez nem kell kibogozni azokat az életrajzi részleteket és személyiségjegyeket, amelyek az egyes tudósokat valamilyen döntésre készítik, bár e témának roppant nagy a vonzereje. Azt azonban meg kell érteni, hogy miként hat egymásra egy sajátos közös értékrendszer és a közösség kollektív tapasztalata, hiszen ez szavatolja, hogy végül a közösség tagjainak többsége az érvek egyik csoportját meggyőzőbbnek találja, mint egy másikat.

Ez a folyamat meggyőzés, de felvet egy nehezebb problémát is. Ha két ember ugyanazt a helyzetet másképp érzékeli, de amikor beszél róluk, ugyanazokat a szavakat veszi igénybe, akkor biztosan másképp használja a szavakat. Azaz – ahogy korábban megfogalmaztam – összemérhetetlen szempontokból kiindulva beszélnek. Hogy remélhetik, hogy megértik egymást, a meggyőzésről már nem is szólva? Még ahhoz is, hogy bármily kezdetleges választ találjunk erre a kérdésre, pontosabban meg kell határozni a szóban forgó nehézség természetét. Úgy gondolom, hogy a következő leírás ennek a feladatnak legalább részben eleget tesz.

A normál tudomány gyakorlata arra a példázatokon elsajátított képessége épül, amellyel tárgyak és helyzetek hasonlóságuk alapján csoportokba rendezhetők; ezek a csoportok kezdetlegesen abban az értelemben, hogy a csoportosítás anélkül történt, hogy választ adott volna erre a kérdésre: „Milyen szempontból hasonló?” Ennek megfelelően minden forradalomnak lényeges mozzanata, hogy megváltoznak egyes hasonlósági összefüggések. Korábban ugyanabba a csoportba sorolt tárgyak különböző csoportokba kerülnek, és megfordítva. Gondoljunk a Napra, a Holdra, a Marsra, és a Földre Kopernikusz előtt és után; a szabadesésre, az ingára és a bolygómozgásra Galilei előtt és után; vagy a sókra, az elegyekre és a kénpor meg a vasreszelék keverékére Dalton előtt és után! Mivel a megváltozott csoportokban is jórészt ugyanazok a tárgyak szerepelnek, mint azelőtt, a csoportok neve rendszerint megmarad. Ennek ellenére egy részecsoport áthelyezése általában együtt jár a csoportok közötti összefüggések rendszerének gyökeres átrendeződésével. A fémeknek a vegyületek csoportjából az elemek csoportjába való áthelyezése lényeges szerepet játszott az égés, a savasság, a fizikai és kémiai egyesülés új elméletének jelentkezésében. Ezek a változások hamarosan áthatották a kémia egészét. Így hát nem meglepő, hogy amikor ilyen új csoportosítások történnek, két

ember, aki korábban minden jel szerint tökéletesen megértette egymást, egyszerre csak azt tapasztalja, hogy ugyanarra az ingerre összeegyeztethetetlen leírásokkal és általánosításokkal válaszol. Még tudományos véleménycseréjüknek sem minden területén érzik ezeket a nehézségeket, de a nehézségek jelentkezni fognak, és az elmélet kiválasztása szempontjából legfontosabb jelenségek körül fognak összesűrűsödni.

Bár az ilyen problémák először a kommunikációban válnak nyilvánvalóvá, nem pusztán nyelvi nehézségek, és nem oldhatók meg egyszerűen úgy, hogy megállapodnak a zavart okozó terminusok definíciójában. Mivel azokat a szavakat, amelyek körül a nehézségek csoportosulnak, részben példázatokra való közvetlen alkalmazásukból tanulták meg, a kommunikációs csőd részesei nem mondhatják ezt: „Az »elem« (vagy a »keverék«, vagy a »bolygó«, vagy az »akadálytalan mozgás«) kifejezést a következő kritériumokkal meghatározott módon használok.” Nem folyamodhatnak tehát valamiféle semleges nyelvhez, amelyet mindkét fél ugyanúgy használ, amelyen mindkettőjük elmélete megfogalmazható, sőt még a két elmélet empirikus következményei is leírhatók. A nézeteltérés részben megelőzi a nyelvek alkalmazását, viszont a nyelvekben is kifejeződik.

Azoknak, akik átélnek ilyen kommunikációs csődöt, mégis van egy menedékük. Ugyanazok az ingerek érik őket. Idegrendszerük általános felépítése is ugyanolyan, ha másképp van is programozva. Sőt, a tapasztalat egy döntő, de kicsiny területétől eltekintve, minden bizonnyal még idegrendszerük programozása is majdnem ugyanolyan, hiszen élettörténetük is – közvetlen múltjuk kivételével – közös. Következésképpen mindennapi világuk és nyelvük, valamint tudományos világuknak és nyelvüknek a legnagyobb része közös. Mivel ilyen sok mindenben egyeznek, feltétlenül képesek sok mindenre rájönni abból, ami-ben különböznek. Az ehhez szükséges módszerek azonban nem közvetlenül célravezetőek, nem kényelmesek, nem részei a tudós szokásos eszköztárának. A tudósok nemigen fogadják el öncélúan az ilyen módszereket, és gyakran csak addig élnek velük, amíg szükségük van rájuk az ellenfél megtérítéséhez, vagy amíg meggyőződnek róla, hogy ez végképp lehetetlen.

Röviden fogalmazva, a kommunikációs csőd részesei nem tehetnek egyebet, mint hogy különböző nyelvi közösségek tag-

jának fogadják el egymást, és fordítóvá válnak.¹⁷ Önálló témaként tanulmányozva az egyes csoportokon belüli és a csoportok közötti érintkezés nyelvének eltéréseit, először megkísérelhetik felkutatni azokat a kifejezéseket és állandósult szókapcsolatokat, amelyeket az egyes közösségeken belül minden nehézség nélkül használnak ugyan, de a csoportok közötti vitákban zavar forrásai. (Az ilyen, nehézségeket nem okozó, állandósult szókapcsolatok betű szerint lefordíthatók.) Körülhatárolván a tudományos kommunikáció ilyen zavarforrásait, már felhasználhatják közös mindennapi szókészletüket nehézségeik további tisztázására. Azaz ki-ki megpróbálhatja kideríteni, hogy mit látna és mit mondana a másik, ha olyan inger érné, amelyre az ő szóbeli válasza más volna. Ha képesek kellő mértékben tartózkodni attól, hogy a rendellenes viselkedést egyszerű tévedés vagy hóbort következményeként magyarázzák, idővel egész pontosan meg tudják jósolni egymás viselkedését. Mindenki megtanulja majd lefordítani a másik elméletét és annak következményeit a saját nyelvére, és ugyanakkor a saját nyelvén leírni azt a világot, amelyre az az elmélet vonatkozik. Rendszerint a tudománytörténész is ezt teszi (vagy ezt kellene tennie), amikor idejtmúlt tudományos elméletekkel foglalkozik.

Az ilyen fordítás a másik fél meggyőzésének és megtérítésének is hatásos eszköze, mivel egy idő után lehetővé teszi a kommunikációs csőd részesei számára, hogy másodkézből megtudjanak valamit egymás álláspontjának erőnyeiről és hibáiról. A meggyőzés azonban nem mindig sikerül, s ha igen, akkor sem feltétlenül kíséri vagy követi áttérés. A két tudati folyamat valójában nem azonos; magam is csak az utóbbi időben ismerem fel teljes mértékben a megkülönböztetés fontosságát.

Szerintem valakinek a meggyőzése azt jelenti, hogy bebizonyítjuk neki: a mi nézetünk különb, mint az övé, és ezért annak helyére kellene lépnie. Ez néha minden fordítás nélkül is elérhető. Fordítás híján az egyik tudományos közösség tagjai által szentesített magyarázatok és problémáismertetések jó része nem érhető a másik közösség tagjai számára. Általában minden nyelvi közösség képes azonban már a kezdet kezdetén felmutatni néhány olyan konkrét kutatási eredményt, amely leírható ugyan mindkét csoport számára ugyanúgy érthető mondatokkal, de a másik közösség nem tudja megmagyarázni a saját nyelvén. Ha az új álláspont egy ideig fennmarad, és továbbra is

gyümölcsöző, akkor valószínűleg szaporodni fognak az így megfogalmazható eredmények. Lesznek, akiket már ezek az eredmények is meggyőznek. Elmondhatják: nem tudom, hogyan érik el sikereiket az új felfogás hívei, de ki kell derítenem; bármit is csinálnak, ez nyilván helyes. Különösen a tudományos közösség új tagjai hajlanak könnyen az ilyenfajta válaszra, ugyanis ők még nem tették magukévá egyik csoport sajátos nyelvét és elkötelezettségeit sem.

Többnyire azonban nem döntöek azok az érvek, amelyek a mindkét csoport által ugyanúgy használt szavakkal megfogalmazhatók, döntővé legfeljebb csak a szemben álló szemléletmódok fejlődésének igen késői szakaszán válnak. A szakmában már közismert tudósok közül kevés győzhető meg anélkül, hogy olyan szélesebb körű összehasonlításokhoz is folyamodnának, amelyeket a fordítás tesz lehetővé. Bár ennek árát gyakran igen hosszú és bonyolult mondatokkal kell megfizetni (gondoljunk Proust és Berthollet vitájára, akik kerültek az „elem” terminust), sok utólagos kutatási eredményt lehet *lefordítani* az egyik közösség nyelvéről a másikéra. És ahogy a fordítási munka előrehalad, mindkét közösségben akadnak olyanok, akik e közvetítés segítségével kezdik megérteni, hogyan tekinthetnek a szemben álló csoport tagjai magyarázatnak olyan állításokat, amelyeket ők maguk korábban homályosnak tartottak. Az ezt lehetővé tevő módszerek természetesen nem garantálják a meggyőzést. A legtöbb ember szerint a fordítás veszélyes eljárás, és teljesen idegen a normál tudománytól. Ellenérveket mindig lehet találni, és semmiféle szabály nem írja elő, hogyan kell megvonni az érvek és ellenérvek mérlegét. Mégis: ahogy érvet követ, és támadást támadás után vernek vissza sikeresen, végül már csak elvakult makacssággal magyarázható a további ellenállás.

Az elmondottak alapján döntő fontosságúvá válik a fordítás problémájának a történészek és a nyelvészek előtt régen jól ismert, másik aspektusa. Amikor egy elméletet vagy világszemléletet lefordítunk a saját nyelvünkre, ezzel még korántsem tettük magunkévá. Ehhez teljesen be kell illeszkednünk a kérdéses világszemléletet valló közösségbe, és fel kell ismernünk, hogy nem pusztán fordítunk egy nyelvet, hanem benne gondolkodunk, és benne dolgozunk is egyúttal. Az viszont, hogy valaki megteszi-e ezt a lépést, vagy sem, már nem az egyéni mérle-

gelésen vagy választáson múlik, akármilyen alapos oka legyen is az illetőnek a döntésre. Inkább a fordítás elsajátításának egy bizonyos pontján ráébred, hogy az átmenet már megtörtént, s észrevétlenül áttér egy új nyelvre anélkül, hogy tudatosan így döntött volna. Vagy másképp fogalmazva, úgy jár, mint sokan azok közül, akik már középkorúak, amikor először találkoznak mondjuk a relativitáselmélettel vagy a kvantummechanikával: észreveszi, hogy teljesen meggyőzték ugyan az új szemlélet helyességéről, mégis képtelen gondolkodása szerves részévé tenni, nem képes otthonosan mozogni a részben az új felfogás által körvonalazott világban. Intellektuálisan döntött, de a döntés hatékonnyá válásához szükséges megtérés alól kibújik. Lehet, hogy így is képes lesz alkalmazni az új elméletet, de csak úgy, mint ahogy idegen környezetben a külföldi számára az elmélet csak azért felhasználható lehetőség, mert vannak körülötte bennszülöttek. Munkájával emezekén élőködik, ugyanis ő maga nem rendelkezik a szellemi készségeknek azzal az együttesével, amelyet a kérdéses közösség leendő tagjai neveltetésük során sajátítanak majd el.

Így tehát a tényleges, tudatos áttérést – ezt a korábban az alaklélektanból ismert látási élményváltáshoz hasonlítottam – továbbra is a forradalmi folyamat lényegének tekintem. Az új elmélet mellett szóló nyomós érvek az áttérés indítókai, s kedvezőbb szellemi légkört teremtenek a fordulathoz. Alkalmazni a fordítást az idegrendszer átprogramozásának kezdőpontja; ez az alapja az áttérésnek. Sem a nyomós érvek, sem a fordítás nem jelent azonban áttérést, pedig éppen ennek folyamatát kell megmagyaráznunk, hogy megértsük a tudomány változásának egyik jellegzetes fajtáját.

6. A FORRADALMAK ÉS A RELATIVIZMUS

Az imént vázolt tétel egyik következménye különösen zavarta több bírálomat.¹⁸ Álláspontomat – elsősorban az utolsó fejezetben kifejtett formájában – relativisztikusnak találták. A fordításról tett megjegyzéseim érthetővé teszik, mi adott okot erre a vádra. A különböző elméletek hívei olyanok, mint a különböző nyelvi-kulturális közösségek tagjai. A hasonlóság elismerése azt sugallja, hogy bizonyos értelemben mindkét csoportnak

igaza van. A kultúrára és annak fejlődésére alkalmazva ez a tétel relativisztikus.

A tudományra alkalmazva azonban nem feltétlenül az, s egy bizonyos vonatkozásban, melyet kritikásaim figyelmen kívül hagytak, semmi esetre sem *puszta* relativizmus. Azt igyekeztem bizonyítani, hogy a fejlett tudományok művelői – ha egyetlen közösségnek vagy közösségekből álló csoportnak tekintjük őket – alapjában véve rejtvényfejtők. Bár az elmélet kiválasztásakor olyan értékeket is felvonultatnak, amelyek tevékenységük más mozzanataiból erednek, ha az értékek összeütkeznek, a tudományos közösség tagjainak többsége szerint az a fő kritérium, hogy melyik elmélet bizonyította be alkalmasságát a természet rejtvényei megfogalmazására és megoldására. Mint minden érték, a rejtvényfejtő képesség is többértelműnek bizonyul a gyakorlatban. Ha két ember egyaránt elfogadja ezt a kritériumot, azért még más lehet az alkalmazása nyomán kialakuló véleményük. Az a közösség, amely ezt tartja a legfőbb értéknek, mégis másképp fog viselkedni, mint az, amelyik nem így ítéli meg. A tudományban nagyra értékeli a rejtvényfejtő képességet; az alábbiakban jelzem, hogy szerintem milyen következményekkel jár ez.

Képzeljünk el egy evolúciós fát, amely a modern szaktudományok kifejlődését közös forrásaikból, mondjuk a primitív természetfilozófiából és kézművesmesterségekből kiindulva ábrázolja. A fa törzsétől valamelyik ág végig felfelé futó, vissza soha nem kanyarodó vonala az elméleteket leszármazásuk szerinti sorrendben tüntetné fel. Könnyű volna kijelölni a kritériumok körét, amelyek alapján egy független szemlélő képes megmondani két tetszőleges elméletről – ha nincsenek túl közel eredetükhöz –, hogy melyik a régebbi, és melyik az újabb. A leghasznosabb kritériumok többek között a következők: az előrejelzések, különösen a kvantitatív előrejelzések pontossága; az ezoterikus és a közérdekű témák aránya; a különböző megoldott problémák száma. E célra kevésbé használhatók, de a tudományos életnek fontos meghatározó tényezői az ilyenféle értékek: az elmélet egyszerűsége, érvényességének köre és más szaktudományokkal való összeegyeztethetősége. A felsorolás még nem tartalmazza az itt szükséges összes értéket, de biztos vagyok benne, hogy kiegészíthető. Ha ez igaz, a tudomány fejlődése a biológiai fejlődéshez hasonlóan egyirányú és meg-

fordíthatatlan folyamat. A későbbi elméletek a korábbiaknál inkább képesek rejtvények megfejtésére, miközben sokszor gyökeresen megváltozik a környezet, amelyre az elméleteket alkalmazzák. Ez nem relativista álláspont, és azt is világossá teszi, hogy milyen értelemben vagyok meggyőződéses híve a tudományos haladásnak.

A tudományfilozófusok és a laikusok körében legelterjedtebb haladásfogalommal összevetve, egy lényeges elem hiányzik ebből a tételből. Egy tudományos elméletet rendszerint nemcsak abban az értelemben találnak jobbnak elődjénél, hogy jobb eszköz rejtvények felfedezésére és megoldására, hanem azért is, mert valahogy jobban leírja, hogy milyen a természet. Gyakran halljuk, hogy az egymást követő elméletek egyre hívebbek az igazsághoz, vagy egyre jobban megközelítik az igazságot. Nyilvánvaló, hogy az efféle általánosítások nem az elméletből levezetett rejtvénymegoldásokra és konkrét előrejelzésekre vonatkoznak, hanem az elmélet ontológiájára, azaz arra, hogy azok az entitások, amelyekkel az elmélet benépesíti a természetet, milyen összhangban vannak a „valóságos létezővel”.

Valamilyen más módon talán megmenthető az „igazság” fogalma, hogy alkalmazható legyen egész elméletekre, de ez a módszer nem megfelelő. Nincs elmélettől független eljárás az olyan fordulatok tartalmának a tisztázására, mint a „valóságosan létező”; ma már úgy látom, hogy általában félrevezető az az elképzelés, hogy összhang van egy elmélet ontológiája és „valóságos” természeti megfelelője között. Történelemszerűen pedig az a benyomásom, hogy valószínűtlen ez a szemlélet. Nem kétséges előttem, hogy a rejtvényfejtés eszközeként a newtoni mechanika jobb, mint az arisztotelészi, és az einsteini mechanika jobb, mint a newtoni, de képtelen vagyok összefüggő ontológiai fejlődésvonalat látni ebben a történeti sorban. Sőt, bizonyos szempontból, bár korántsem minden vonatkozásban, Einstein általános relativitáselmélete közelebb áll Arisztotelész elméletéhez, mint bármelyikük a newtoni rendszerhez. Érthető ugyan a kísértés, hogy ezt az álláspontot relativisztikusnak ítéljék, ezt a minősítést mégis tévesnek tartom. Ha pedig ez a felfogás relativizmus, nem tudom belátni, hogy a relativista bármit is veszítene, amire szüksége van a tudomány természetének és fejlődésének magyarázatához.

7. A TUDOMÁNY TERMÉSZETE

Végül röviden foglalkozom két visszatérő reakcióval, amely eredeti szövegemet fogadta; az egyik bíráló, a másik helyeslő, de úgy gondolom, egyik sem egészen helyes. Bár nem függenek össze sem az eddig elmondottakkal, sem egymással, olyan súllyal szerepeltek, hogy megérdemelnek legalább egy tömör választ.

Néhány olvasóm szóvá tette, hogy többször is áttérek a leíró módszerről a normatívra, és viszont. Különösen azokon a helyeken feltűnő ez, ahol azzal kezdem, hogy „a tudósok azonban nem ezt teszik”, és azzal fejezem be, hogy a tudósok helytelenül járnak el. Egyes bírálók azt állítják, hogy felcserélem a leírást az előírással, megsértve a réges-régi filozófiai alapszabályt: a „van” nem jelentheti azt, hogy „kell”.¹⁹

Ez a tétel gyakorlatilag közhellyé vált, és már nem is tiszteli mindenki. Több mai filozófus talált olyan fontos összefüggéseket, amelyekben elválaszthatatlanul összefonódnak a normatív és a leíró mozzanatok.²⁰ A „van” és a „kell” semmi esetre sem válik olyan élesen külön, ahogy eddig gondoltuk. De nem kell a mai nyelvfilozófia finom megkülönböztetéseihez folyamodni, hogy tisztázzam azt, ami az általam elmondottaknak ebben a részében zavarosnak tűnt. A fentiekben kifejtettem egy álláspontot vagy elméletet a tudomány természetéről, és mint minden más tudományfilozófiából, ebből az elméletből is következik valamilyen elképzelés arról, hogy miként kell a tudósoknak cselekedniük ahhoz, hogy munkájuk sikerrel járjon. Bár ez az elmélet sem feltétlenül helyesebb, mint bármely másik, mindenestre jogos alapot nyújt a „kell” és a „legyen” ismételt használatához. És megfordítva: részben azért kell komolyan venni a szóban forgó elméletet, mert a tudósok, akik módszereiket munkájuk sikere érdekében hozták létre és választották ki a lehetséges módszerek közül, valóban úgy viselkednek, ahogy ezt az elmélet megkívánja. Leíró általánosításaim éppen azért bizonyítják az általam javasolt elméletet, mert le is vezethetők belőle, míg a tudomány természetére vonatkozó más felfogások alapján anomáliának minősülnek.

Ez az érvelés logikai kört tartalmaz, de úgy gondolom, hogy ez nem hibás kör. Az itt tárgyalt felfogás következményeit nem merítik ki azok a megfigyelések, amelyekre elméletemet erede-

tileg alapoztam. Részben már e könyv első megjelenése előtt a tudományos tevékenységnek és a tudomány fejlődésének feltárására jól használható eszköznek találtam elméletemet. Ha összehasonlítjuk ezt az utószót az eredeti szöveggel, észrevehető, hogy elméletem továbbra is ilyen szerepet játszott. Semmiféle pusztán körben forgó okoskodásra épülő álláspont nem lehet ilyen vezérszeme.

Végül még egy reakcióról szólok, de erre másfajta választ kell adnom. Azok közül, akik kedvezően fogadták munkámat, többen nem is annyira azért rokonszenveztek velem, mert fényt vet a tudomány mibenlétére, hanem inkább azért, mert úgy találták, hogy fő tételei sok más területre is alkalmazhatók. Értem, hogy mire gondolnak, és nem is akarom elvenni a kedvüket attól, hogy megpróbálják kiterjeszteni az itt javasolt szemléletmód érvényességi körét, reakciónk mégis zavarba ejtett. Amennyiben munkám a tudományos fejlődést olyan folyamatként ábrázolja, amelyben a kutatás hagyományt követő szakaszainak rendjét időnként nem kumulatív törések tarkítják, annyiban a benne foglalt tételek kétségkívül széles körben alkalmazhatók. De hát ennek így is kell lennie, hiszen ezeket a jellemzőket más területek leírásából kölcsönöztem. Az irodalomtörténészek, a zenetörténészek, a művészettörténészek, a politikai fejlődés és sok más emberi tevékenységforma történetek kutatói már régóta hasonló módon írják le vizsgálódásaik tárgyát. A stílusban, az ízlésben és az intézményrendszerben bekövetkező forradalmi változásokra alapozott periodizáció e kutatók bevett módszerei közé tartozik. Ha hoztam valami újat ebben a vonatkozásban, akkor az elsősorban az volt, hogy ezeket a fogalmakat a természettudományra alkalmaztam, egy olyan területre, amelyről a közfelfogás azt tartotta, hogy másképp fejlődik. Feltehetőleg a paradigma mint konkrét eredmény – azaz a példázat – fogalmának bevezetése szintén új mozzanatnak tekinthető. Azt gyanítom, hogy talán a képzőművészeti stílus fogalmával kapcsolatos közismert nehézségek egy része is elhárul, ha a festményeket inkább abból kiindulva vizsgálják, hogy mintaképként egymáshoz igazodnak, nem pedig valamilyen elvont stílusszabályokkal összhangban jönnek létre.²¹

Munkámmal azonban mást is akartam mondani, s ez olvasómnak nyilván kevésbé tűnt fel. Lehetséges ugyan, hogy a tudományos fejlődés jobban hasonlít a más területeken tapasztalható fejlődéshez, mint ahogy eddig feltételezték, de szembeötlő különbségeket is találhatunk. Az az állítás például, hogy a természettudományok – legalábbis fejlődésük egy bizonyos pontjától fogva – olyan módon haladnak, amellyel más területen nem találkozunk, nem lehetett teljes egészében téves, bárhogya is értelmezük a haladást. A könyv egyik célja az volt, hogy megvizsgálja az ilyen különbségeket, és elkezdje magyarázni őket.

Gondoljunk például arra, hogy ismételten hangsúlyoztam: a fejlett tudományokban nincsenek – ma inkább azt mondanám, viszonylag ritkán vannak – rivális iskolák! Emlékezzünk arra, hogy megállapítottam: egy tudományos közösség munkásságának befogadói és elbírálói jobbra kizárólag az adott közösségek tagjai. Vagy gondoljunk például a tudósképzés sajátosságaira, a rejtvényfejtésre mint célra, vagy arra, hogy milyen értékrendszerhez folyamodnak a tudományos közösségek válságok és döntések idején. Könyvemben más hasonló sajátosságokat is megjelöltem; ezek egyike sem feltétlenül csak a tudományra jellemző, együtt mégis önálló tevékenységi formát határolnak körül.

Igen sok mindent kell még kideríteni a tudománynak e jellemző tulajdonságairól. Az utószó elején hangsúlyoztam, hogy mennyire szükséges a tudományos közösségek szerkezetének a tanulmányozása. Most, befejezésül aláhúzom, hogy elengedhetetlen a más területeken működő megfelelő közösségek hasonló és mindenekelőtt összehasonlító tanulmányozása. Hogyan választ az egyén, és hogyan választanak valakit valamely tudományos vagy más közösség tagjává? Milyen a csoportoszocializáció folyamata, és melyek a szakaszai? Mit tekint a csoport a maga közös céljának; milyen egyéni vagy kollektív devianciákat visel el a csoport, és hogyan küzdi le a megengedhetetlen eltérést a közös normáktól? A tudomány természetének és működésének jobb megértéséhez másfajta kérdésekre is választ kell majd találnunk, de most nem foglalkozhatunk tovább ezzel az oly fontos feladattal. A tudományos ismeretek együttese a nyelvhez hasonlóan lényegénél fogva egy csoport közös tulajdona, másképp nem is létezhet. Ezeknek az ismereteknek a megértéséhez az ismereteket létrehozó és alkalmazó csoportok sajátos vonásait is meg kell majd ismernünk.

JEGYZETEK

ELŐSZÓ

1. Különösen a következő munkák hatottak rám ebben az időben: Alexandre Koyré: *Études Galiléennes* (3 kötet, Párizs, 1939); Emile Meyerson: *Identity and Reality* (New York, 1930); Hélène Metzger: *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle* (Párizs, 1923) és *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Párizs, 1930); valamint Anneliese Maier: *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert. Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik* (Róma, 1949).

2. Piaget két kutatássorozata bizonyult különösen fontosnak számomra: *The Child's Conception of Causality* (London, 1930) és *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (Párizs, 1946). E munkákban ugyanis olyan fogalmakkal és folyamatokkal találkoztam, amelyeket a tudománytörténet is ismer.

3. John B. Carroll azóta összegyűjtötte és kiadta Whorf írásait: *Language, Thought and Reality – Selected Writings of Benjamin Lee Whorf* (New York, 1956). Quine e nézeteit a következő munkában fejtette ki: „Two Dogmas of Empiricism.” Újra megjelent: *Quine: From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953), 20–46. o.

4. E tényezők szerepére vonatkozóan lásd T. S. Kuhn: *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, Mass., 1957), 122–132., 270–271. o. A gazdasági és szellemi környezetnek a tudomány tényleges fejlődésére gyakorolt egyéb hatásaival a következő munkákban foglalkoztam: „Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery” in: *Critical Problems in the History of Science*. Szerk. Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), 321–356. o. „Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot.” *Archives internationales d'histoire des sciences*, XIII. (1960), 247–251. o. és „Sadi Carnot and the Cagnard Engine.” *Isis*, LII. (1961), 567–574. o. A külső tényezők hatását tehát csak az itt vizsgált problémák vonatkozásában tekintem csekélynek.

II. FEJEZET

1. Joseph Priestley: *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London, 1772), 385–390. o.

2. Vasco Ronchi: *Histoire de la lumière* (Párizs, 1956), I–IV. fejezet.

3. Duane Roller és Duane H. D. Roller: *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* („Harvard Case Histories in Experimental Science”, Case 8; Cambridge, Mass., 1954) és I. B. Cohen: *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), VII–XII. fejezet. A főszöveg következő bekezdésében szereplő elemzés néhány részletét tanítványom, John L. Heilbron még kiadatlan dolgozatából vettem át. E munka megjelenéséig a következő tanulmányomban található valamivel részletesebb és pontosabb leírást az olvasó Franklin paradigmájának kialakulásáról: „The Function of Dogma in Scientific Research” in: A. C. Crombie (szerk.): *Simposium on the History of Science, University of Oxford, July 9–15, 1961*; a kötet a Heinemann Educational Books Ltd. kiadónál fog megjelenni.

4. Vö. a hő természetrajzának vázlatával Bacon: *Novum Organum*-ban. In: *The Works of Francis Bacon* (VIII. k. New York, 1869), 179–203. o.

5. Roller és Roller: i. m. 14., 22., 28. és 43. o. Csak a legutolsó helyen leírt vizsgálatok után ismerték el általánosan a taszítást egyértelműen elektromos jelenségnek.

6. Bacon: i. m. 235. és 337. o.: „Az enyhén meleg víz könnyebben megfagy, mint az egészen hideg.” E különös megfigyelés előzményeit részben ismerteti Marshall Clagett a *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (New York, 1914) c. munkájának IV. fejezetében.

7. Roller és Roller: i. m. 51–54. o.

8. Nehéz eset volt a negatív töltésű testek kölcsönös taszítása. Lásd Cohen: i. m. 491–494. és 531–543. o.

9. Meg kell jegyeznünk, hogy Franklin elméletének elfogadása nem vetett egészen véget minden vitának. 1759-ben Robert Symner ennek az elméletnek olyan változatát javasolta, amely két fluidummal számolt. Ezután éveken át folyt a vita a villamosságban kutatóknak körében arról, hogy a villamosság egy fluidum-e, vagy kettő. E viták azonban csak alátámasztják azt, amit arról mondtunk, hogy miként egyesíti a szakmabelieket egy általánosan elismert eredmény. Bár a kutatóknak továbbra sem sikerült megegyezniük ebben a kérdésben, hamarosan belátták, hogy lehetetlen kísérleti úton kiválasztani az elmélet két változata közül a helyeset, és ezért egyenértékűnek kell tekinteni őket. Ezek után mindkét iskola hozzáláthatott a Franklin-elmélet kínálta lehetőségek kiaknázásához. (Uo. 543–546. és 548–554. o.)

10. Bacon: i. m. 210. o.

11. Kitűnően szemlélteti ezt a villamosságtan története, s további példák adódnak Priestley, Kelvin és mások pályafutásából. Franklinnál olvashatjuk, hogy Nollet, aki a XVIII. század közepén a legtekintélyesebb villamosságkutató volt a kontinensen, „megérte, hogy szektájának rajta kívül egyetlen tagja maradt: B. úr – tanítványa és közvetlen munkatársa”. (Max Farrand [szerk.]: *Benjamin Franklin's Memoirs* [Berkeley, Calif., 1949], 384–386. o.) Még érdekesebb azonban, hogy egész iskolák kitarthatnak, bár egyre inkább elszigetelődnek a hivatalos tudománytól. Gondoljunk például az asztrológiára, amely a csillagászat szerves része volt. És íme, egy másik példa: a „romantikus” kémia tiszteletre méltó hagyománya követőkre talált még a XVIII. század végén és a XIX. század elején is. Ezzel a tradícióval foglalkozik Charles C. Gillispie tanulmányaiban: „The Encyclopédie and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences” in: *Critical Problems in the History of Science*. Szerk. Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), 255–289. o. és „The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory.” *Archives internationales d'histoire des sciences*, XXXVII (1956), 323–338. o.

12. A Franklin utáni fejlődés néhány eredménye: rendkívüli mértékben megnőtt a töltésérzékelő berendezések érzékenysége, létrejöttek és általánosan elterjedtek az első megbízható eljárások a töltés nagyságának mérésére, tovább fejlődött a kapacitás fogalma, és világosabb lett, hogy miként függ össze a feszültség új, a korábrinál pontosabb fogalmával, valamint sikerült kvantifikálni az elektrosztatikus erőt. A részletekre vonatkozóan lásd Roller és Roller: i. m. 66–81. o.; W. C. Walker: „The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century.” *Annals of Science*, I. (1936), 66–100 o.; és Edmund Hoppe: *Geschichte der Elektrizität* (Lipcse, 1884), I. rész, III–IV. fejezet.

III. FEJEZET

1. Bernard Barber: „Resistance by Scientists to Scientific Discovery.” *Science*, CXXXIV. (1961), 596–602. o.

2. Ma már az elmélet régi próbái közül csak a Merkúr perihéliumának precessióját fogadja el mindenki érvényesnek. A távoli csillagokról érkező fény spektrumának eltolódását a vörös szín felé az általános relativitáselméletnél elemibb meggondolásokból is le lehet vezetni, s ugyanez a helyzet a fénynek a Nap közelében tapasztalt elhajlásával; ezt a kérdést egyébként újabban megint vitatják. Annyi bizonyos, hogy az utóbbi jelenségről a vonatkozó mérések továbbra sem egyértelműek. Talán kiegészítő próba lehet egy nemrég fölfedezett jelenség: a Mössbauer-sugárzás gravitációs eltolódása. Lehet, hogy ezen a sokáig elhanyagolt, de most végre mozgásba jött területen hamarosan más empirikus bizonyítékok is adódnak. A kérdés jelenlegi

állítását röviden összefoglalja L. I. Schiff: „A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity.” *Physics Today*, XIV. (1961), 42–48. o.

3. Két parallaxtikus távcsövet ismertet Abraham Wolf: *A History of Science, Technology and Philosophy in the Eighteenth Century* (2. kiadás, London, 1952), 103–105. o. Az Atwood-féle ejtőgépre vonatkozóan lásd N. R. Hanson: *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), 100–102. és 207–208. o. Az utolsóként említett két különleges berendezést illetően M. L. Foucault: „Méthodes générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau...” *Comptes rendus ... de l'Académie des sciences*, XXX. (1850), 551–560. o., illetve C. L. Cowan, Jr. és mások: „Detection of the Free Neutrino: A Confirmation”, *Science*, CXXIV. (1956), 103–104. o.

4. J. H. Poynting mintegy két tucat olyan mérést ismertet az 1741 és 1901 közötti időszakból, amelynek célja a gravitációs állandó pontosabb meghatározása volt: „Gravitation Constant and Mean Density of the Earth” in: *Encyclopædia Britannica* (11. kiadás, Cambridge, 1910–1911), XII. 385–389. o.

5. A hidrosztatikai fogalmaknak a pneumatikára való teljes átvitelére vonatkozóan lásd: *The Physical Treatises of Pascal* (New York, 1937). Torricelli eredeti megfogalmazása („A levegő-elem óceánjának a fenekére merülve élünk”) a 164. oldalon olvasható. Pascal két nagy értekezésében nyomon követhetjük a folyamat gyors kibontakozását.

6. Duane Roller és Duane H. D. Roller: *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb*. „Harvard Case Histories in Experimental Science” (Case 8; Cambridge, Mass., 1954) 66–80. o.

7. Néhány példa található a következő dolgozatban: T. S. Kuhn: „The Function of Measurement in Modern Physical Science.” *Isis*, LII. (1961), 161–193. o.

8. T. S. Kuhn: „The Caloric Theory of Adiabatic Compression.” *Isis*, XLIX. (1958), 132–140. o.

9. C. Truesdell: „A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason.” *Archive for History of the Exact Sciences*, I. (1960), 3–36. o.; és „Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's Principia.” *Texas Quarterly*, X. (1967), 281–297. o. T. L. Hankis: „The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century.” *Archives internationales d'histoire des sciences*, XX. (1967), 42–65. o.

10. Wolf: i. m. 75–81., 96–101. o.; és William Whewell: *History of the Inductive Sciences* (átdolgozott kiadás; London, 1847), II. 213–271. o.

11. René Dugas: *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), IV–V. könyv.

IV. FEJEZET

1. A tudós egyéni szerepe és a tudomány fejlődésének általános sémája közötti összeütközés néha nagyon súlyos frusztrációt idéz elő. L. Lawrence, S. Kubie: „Some Unsolved Problems of the Scientific Career.” *American Scientist*, XLI. (1953), 596–613. o. és XLII. (1954), 104–112. o.

2. E kísérletek fejlődésének rövid összefoglalását adja előadásában C. J. Davison: *Les Prix Nobel en 1937* (Stockholm, 1938), 4. o.

3. W. Whewell: *History of the Inductive Sciences* (átdolgozott kiadás; London, 1847), II. 101–105. és 220–222. o.

4. Ezt a kérdést W. O. Hagstrom fogalmazta meg először; tudomány-szociológiai kutatásai bizonyos pontokon találkoznak az én eredményeimmel.

5. A newtoni szemléletnek ezekre a megnyilvánulásaira lásd B. Cohen: *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), VII. fejezet, különösen a 255–257., 275–277. o.

6. Ezt a példát hosszan tárgyaljuk a X. fejezet vége felé.

7. H. Metzger: *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e siècle à la fin du XVIII^e siècle* (Párizs, 1923), 359–361. o.; és Marie Boas: *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), 112–115. o.

8. Leo Königsberger: *Hermann von Helmholtz* (Oxford, 1906), 65–66. o.

9. James E. Meinhard: „Chromatography: A Perspective.” *Science*, CX. (1949), 387–392. o.

10. A korpuszkuláris szemléletről általában Marie Boas: „The Establishment of the Mechanical Philosophy.” *Osiris*, X. (1952), 412–542. o. Boyle kémijára gyakorolt hatásáról lásd T. S. Kuhn: „Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century.” *Isis*, XLIII. (1952), 12–36. o.

V. FEJEZET

1. Igen hasonló gondolatot fejtett ki ragyogóan Polányi Mihály; szerinte a tudós sikere nagyrészt a „szóltan tudásra” támaszkodik, olyan tudásra tehát, amelyet a gyakorlatban sajátítanak el, és nem fogalmazható meg explicit formában. L. *Személyes tudás I. c. munkáját* (Atlantisz, Bp., 1994), különösen az V. és a VI. fejezetet.

2. Ludwig Wittgenstein: *Filozófiai vizsgálódások* (Atlantisz, Bp. 1992), 57–63 o. Wittgenstein azonban szinte semmit sem mond arról a világról, amelynek igazolnia kell a megnevezés általa fölvezetett módját. Ezért a következő fejtegetések részben eltérnek Wittgenstein gondolatmenetétől.

3. A kémiára lásd H. Metzger: *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e siècle a la fin du XVIII^e siècle* (Párizs, 1923), 24–27. és 146–149. o.; és Marie Boas: *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), II. fejezet. A geológiára lásd Walter F. Cannon: „The Uniformitarian-Catastrophist Debate.” *Isis*, LI. (1960), 38–55. o. és C. C. Gillispie: *Genesis and Geology* (Cambridge, Mass., 1951), IV–V. fejezetet.

4. A kvantummechanika körüli vitákra lásd Jean Ullom: *La crise de la physique quantique* (Párizs, 1950), II. fejezet.

5. A statisztikus mechanikára lásd René Dugas: *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes* (Neuchâtel, 1959), 158–184. és 206–219. o. Maxwell munkásságának fogadtatására lásd Max Planck: „Maxwell's Influence in Germany” in: James Clerk Maxwell: *A Commemoration Volume, 1831–1931* (Cambridge, 1931), 45–65., különösen az 58–63. o.; és Silvanus P. Thompson: *The Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), II., 1021–1027. o.

6. Az arisztotelianusokkal folytatott harcok egyikére lásd A. Koyré: „A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton.” *Transactions of the American Philosophical Society*, XLV. (1955), 329–395. o. A karteziánusokkal, illetve Leibniz követőivel folytatott vitákra lásd Pierre Brunet: *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle* (Párizs, 1931) és A. Koyré: *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, 1957), XI. fejezet.

7. A kutató James K. Senior volt, akinek hálás vagyok szóbeli beszámolójáért. Ezzel összefüggő kérdésekkel foglalkozik egyik dolgozatában: „The Vernacular of the Laboratory.” *Philosophy of Science*, XXV. (1958), 163–168. o.

VI. FEJEZET

1. Az oxigén fölfedezésének még ma is klasszikusnak tekinthető leírása: A. N. Meldrum: *The Eighteenth-Century Revolution in Science – The First Phase* (Calcutta, 1930), V. fejezet. A legfrissebb irodalomból mindenképpen ismerni kell Maurice Daumas: *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* c. könyvének (Párizs, 1955) II–III. fejezetét, ahol a prioritásvitáról is szó esik. E felfedezés történetének alaposabb bemutatása és bibliográfia: T. S. Kuhn: „The Historical Structure of Scientific Discovery.” *Science*, CXXXVI. (1962. június 1.), 760–764. o.

2. Uno Bocklund „A Lost Letter from Scheele to Lavoisier” c. tanulmányában (*Lychmos*, 1957–1958, 39–62. o.) másképp értékeli Scheele munkásságát.

3. J. B. Conant: *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775–1789* („Harvard Case Histories in Experimental

Science”, Case 2; Cambridge, Mass., 1950), 23. o. Ez a nagyon hasznos füzet újra közöl sok fontos idevágó dokumentumot.

4. H. Metzger: *La philosophie de la matière chez Lavoisier* (Párizs, 1935); és Daumas: i. m. VII. fejezet.

5. Lavoisier elégedetlenségének kezdetéről a leghitelesebb leírás: Henry Guerlac: *Lavoisier – the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, N. Y., 1961).

6. L. W. Taylor: *Physics, the Pioneer Science* (Boston, 1941), 790–794. o.; és T. W. Chalmers: *Historic Researches* (London, 1949), 218–219. o.

7. E. T. Whittaker: *A History of the Theories of Aether and Electricity*. I. (2. kiadás; London, 1951) 358. o. 1. jegyzet. Sir George Thomsontól tudom, hogy volt még egy kutató, aki kis híján fölfedezte a röntgensugárzást: Sir William Crooks fényképlemezeken az addigi ismeretek szerint megmagyarázhatatlan fátýolosodást tapasztalt, s ezzel már nyomon volt.

8. Silvanus P. Thompson: *The Life of Sir William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), II. 1125. o.

9. Conant: i. m. 18–20. o.

10. K. K. Darrow: „Nuclear Fission.” *Bell System Technical Journal*, XIX. (1940), 267–289. o. A hasadás két fő terméke közül az egyiket, a kriptont valószínűleg csak akkor sikerült kémiai úton azonosítani, amikor magát a reakciót már helyesen fogták fel. A másik terméket, a báriumot majdnem sikerült kémiai úton azonosítani a kutatás késői szakaszában, mivel történetesen éppen báriumot kellett hozzáadni a radioaktív oldathoz, hogy kicsapják azt a nehéz elemet, amelyet a magkémikusok kerestek. Közel öt éven át vizsgálták ezt a reakciót, de nem sikerült különválasztani az oldathoz hozzáadott báriumot a radioaktív terméktől, így végül erre a megállapításra jutottak: „Ha csak vegyészek volnánk, e kutatások alapján... a fenti reakció sémájában meg kellene változtatnunk minden elnevezést, tehát Ba-t, La-t és Ce-t kellene írunk Ra, Ac és Th helyett. Mivel azonban magkémikusok vagyunk, és szoros szálak kapcsolnak a fizikához, nem tehetjük meg ezt az ugrást, hiszen ellentmondana a magfizika minden eddigi tapasztalatának. Lehet, hogy különös véletlenek sorozata teszi eredményeinket félrevezetővé.” (Otto Hanh és Fritz Strassman: „Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle.” *Die Naturwissenschaften*, XXVII. [1939] 15. o.)

11. A leydeni palack kifejlődésének egyes szakaszairól lásd I. B. Cohen: *Franklin and Newton: Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), 385–386, 400–406, 452–467. és 506–507. o. Az utolsó szakaszt Whittaker ismerteti: i. m. 50–52. o.

12. J. S. Bruner és Leo Postman: „On the Perception of Incongruity: A Paradigm.” *Journal of Personality*, XVIII. (1949), 206–223. o.

13. Uo. 218. o. Postman kollégám elmondotta, hogy bár előre tudott mindent a kísérleti eszközökről és bemutatásuk módjáról, a szabálytalan kártyák láttán mindig roppant kellemetlenül érezte magát.

VII. FEJEZET

1. A. R. Hall: *The Scientific Revolution, 1500–1800* (London, 1954), 16. o.
2. Marshall Clagett: *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), II–III. rész. A. Koyré kimutatta Galilei gondolkodásának számos középkori elemét: *Études Galiléennes* (Párizs, 1939), elsősorban az I. kötet.
3. Newtonról lásd T. S. Kuhn: „Newton’s Optical Papers” in: *Isaac Newton’s Papers and Letters in Natural Philosophy*. Szerk. I. B. Cohen (Cambridge, Mass., 1958), 27–45. o. A hullámelmélet keletkezésének előzményeire lásd E. T. Whittaker: *A History of the Theories of Aether and Electricity*. I. (2. kiadás; London, 1951), 94–109. o.; és W. Whewell: *History of the Inductive Sciences* (átdolgozott kiadás; London, 1847), II. 396–466. o.
4. A termodinamikára lásd Silvanus P. Thompson: *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910) I. 266–281. o. A kvantumelméletre lásd Fritz Reiche: *The Quantum Theory* (London, 1922), I–II. fejezet.
5. J. L. E. Dreyer: *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2. kiadás; New York, 1953), XI–XII. fejezet.
6. T. S. Kuhn: *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), 135–143. o.
7. J. R. Partington: *A Short History of Chemistry* (2. kiadás; London, 1951), 48–51., 73–85. és 90–120. o.
8. Sok idevágó anyag található J. R. Partington és Douglas McKie „Historical Studies of the Phlogiston Theory” c. tanulmányában (*Annals of Science*, II. [1937], 361–404. o.; III. [1938], 1–58. és 337–371. o., valamint IV. [1939], 337–371. o.), bár a szerzők főként egy valamivel későbbi korszakkal foglalkoznak.
9. H. Guerlac: *Lavoisier – the Crucial Year* (Ithaca, N. Y., 1961). Az egész könyv egy válság kibontakozásának és fölismerésének dokumentációja. A Lavoisier körüli helyzet világos ismertetése a 35. oldalon található.
10. Max Jammer: *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics* (Cambridge, Mass., 1954), 114–124. o.
11. Joseph Larmor: *Aether and Matter... Including a Discussion of the Influence of the Earth’s Motion on Optical Phenomena* (Cambridge, 1900), 6–20. és 320–322. o.
12. R. T. Glazebrook: *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (London, 1896), IX. fejezet. Maxwell végső álláspontját illetően lásd: J. C. Max-

well: *A Treatise on Electricity and Magnetism* (3. kiadás; Oxford 1892), 470. o.

13. A csillagászat szerepére a mechanika fejlődésében lásd T. S. Kuhn: i. m., VII. fejezet.

14. Whittaker: i. m. I. 386–410. és II. (London, 1953), 27–40. o.

15. Arisztarkhosz munkásságára lásd T. L. Heath: *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus* (Oxford, 1913), II. rész. Arthur Koestlernél szélsőséges megfogalmazásban jelenik meg a hagyományos felfogás arról, hogy Arisztarkhosz eredményeiről megfeledeztek: *The Sleepwalkers: A History of Man’s Changing Vision of the Universe* (London, 1959), 50. o.

16. Partington: i. m. 78–85. o.

VIII. FEJEZET

1. Lásd mindenekelőtt N. R. Hanson fejtegetéseit: *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), 95–105. o.
2. T. S. Kuhn: „The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research” in: *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*. Szerk. Calvin W. Taylor (Salt Lake City, 1959), 162–177. o. A művészek között is előforduló, hasonló jelenségre vonatkozóan lásd: Frank Barron: „The Psychology of Imagination.” *Scientific American*, CXCV. (1958. szeptember), 151–166. és különösen 160. o.
3. W. Whewell: *History of the Inductive Sciences* (átdolgozott kiadás; London, 1847), II. 220–221. o.
4. A hangsebességet illetően lásd T. S. Kuhn: „The Caloric Theory of Adiabatic Compression.” *Isis*, XLIV. (1958), 136–137. o. A Merkúr perihéliumának időszakonként ismétlődő eltolódására lásd E. T. Whittaker: *A History of the Theories of Aether and Electricity*. II. (London, 1953), 151., 179. o.
5. Idézi T. S. Kuhn: *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), 138. o.
6. Albert Einstein: „Autobiographical Note” in: *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. Szerk. P. A. Schüpp (Evanston, III. 1949), 45. o.
7. Ralph Kronig: „The Turning Point” in: *Theoretical Physics in the Twentieth Century: A Memorial Volume to Wolfgang Pauli*. Szerk. M. Fierz és V. F. Weisskopf (New York, 1960), 22., 25–26. o. A cikk nagy része a kvantummechanika 1925 előtti válságát írja le.
8. Herbert Butterfield: *The Origins of Modern Science, 1300–1800* (London, 1949), 1–7. o.
9. Hanson: i. m., I. fejezet.

10. Keplernek a Marssal foglalkozó munkásságára lásd J. L. E. Dreyer: *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. (2. kiadás; New York, 1953), 380–393. o. Dreyer összefoglaló jellegű munkája – szórványos pontatlanságai ellenére – tartalmazza az itt szükséges tényanyagot. Priestley tevékenységére lásd saját munkáit, különösen: *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (London, 1774–1775).

11. A XVII. századi mechanikai filozófiai ellenpontjára lásd René Dugas: *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954). Különösen a XI. fejezet. A XIX. századi hasonló összefüggésre lásd ugyanennek a szerzőnek egy korábbi könyvét: *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), 419–443. o.

12. T. S. Kuhn: „A Function for Thought Experiments” in: *Mélanges Alexandre Koyré*. Szerk. R. Taton és I. B. Cohen. A kötet 1963-ban jelent meg a Hermann kiadónál, Párizsban.

13. Általában az új optikai felfedezésekről lásd V. Ronchi: *Histoire de la lumière* (Párizs, 1956), VII. fejezet. E hatások egyikének korábbi magyarázatára lásd J. Priestley: *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours* (London, 1772), 498–520. o.

14. Einstein: i. h.

15. Annaira megszokott, hogy szinte már közhelynek számít ez az általános megállapítás a fiatalok szerepéről a tudományos alapkutatóban. S elég egy pillantás bármely tudomány alapvető fölfedezéseire, hogy megerősödjék ez a benyomásunk. Mindazonáltal nagyon is szükség van ennek az általánosításnak a módszeres tanulmányozására. Harvey C. Lehman (*Age and Achievement*. Princeton, 1953) sok értékes adattal szolgál; azonban ő sem kísérli meg, hogy kijelölje a fogalomrendszer gyökeres átalakulásával járó eredményeket, s azt sem vizsgálja, hogy viszonylag idősebb korban milyen különleges körülmények – ha egyáltalán vannak ilyenek – tehetik lehetővé a termékenység fennmaradását a tudományban.

IX. FEJEZET

1. Silvanus P. Thompson: *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), I. 266–281. o.

2. Lásd például P. P. Wiener észrevételeit: *Philosophy of Science*, XXV. (1958), 298. o.

3. James B. Conant: *Overthrow of the Phlogiston Theory* (Cambridge, 1950), 13–16. o.; és J. R. Partington: *A Short History of Chemistry* (2. kiadás: London, 1951), 85–88. o. A flogisztionelmélet eredményeit H. Metzger tárgyalja a legrészletesebben és legfogékonyabban: *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Párizs, 1930), II. rész.

4. Vö. R. B. Braithwaite megállapításaival: *Scientific Explanation* (Cambridge, 1958), 50–87., különösen 76. o., melyekhez a mienktől igencsak eltérő vizsgálat során jutott.

5. A korpuszkuális iskoláról általában lásd Marie Boas: „The Establishment of the Mechanical Philosophy.” *Osiris*, X. (1952), 412–541. o. A részecskék alakjának hatásáról az izlelésre lásd uo. 483. o.

6. R. Dugas: *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954), 177–185., 284–298., 345–356. o.

7. I. B. Cohen: *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), VI–VII. fejezet.

8. A villamosságtanra lásd uo., VIII–IX. fejezet. A kémiára lásd Metzger: i. m., I. rész.

9. E. Meyerson: *Identity and Reality* (New York, 1930), X. fejezet.

10. E. T. Whittaker: *A History of the Theories of Aether and Electricity*. II. (London, 1953), 28–31. o.

11. C. C. Gillespie kiváló munkája (*The Edge of Objectivity: An Essay in the History of Scientific Ideas*. Princeton, 1960) korszerű kísérlet arra, hogy a tudomány fejlődését ebbe a Prokrusztész-ágyba kényszerítse.

X. FEJEZET

1. Először George M. Stratton végzett ilyen kísérleteket: „Vision without Inversion of the Retinal Image.” *Psychological Review*, IV. (1897), 341–360., 463–481. o. Egy korszerűbb ismertetés: Harvey A. Carr: *An Introduction to Space Perception* (New York, 1935), 18–57. o.

2. Lásd például Albert H. Hastorf: „The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance.” *Journal of Psychology*, XXIX. (1950), 195–217. o. Jerome S. Bruner, Leo Postman és John Rodrigues: „Expectations and the Perception of Color.” *American Journal of Psychology*, LXIV. (1951), 216–227. o.

3. N. R. Hanson: *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), I. fejezet.

4. Peter Doig: *A Concise History of Astronomy* (London, 1950), 115–116. o.

5. Rudolph Wolf: *Geschichte der Astronomie* (München, 1877), 513–515., 683–693. o. Érdemes megfigyelni, hogy e fölfedezéseket a Bode-szabály következményeként magyarázza.

6. Joseph Needham: *Science and Civilization in China*. III. (Cambridge, 1959), 423–429., 434–436. o.

7. T. S. Kuhn: *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), 206–209. o.

8. Duane Roller és Duane H. D. Roller: *The Development of the Concept of Electric Charge* (Cambridge, Mass., 1954), 21–29. o.

9. A kérdés tárgyalását lásd a VII. fejezetben; a fejezet 9. jegyzetében idézett irodalom további eligazítást ad.

10. Galileo Galilei: *Dialogues Concerning Two New Sciences* (Evanston, I. 11. 1946), 80–81., 162–166. o.

11. Uo. 91–94., 244. o.

12. M. Clagett: *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), 537–538., 570. o.

13. Jacques Hadamard: *Subconscient intuition, et logique dans la recherche scientifique* (Conférence faite au Palais de la Découverte le 8 décembre 1945; Alençon, é. n.) 7–8. o. Sokkal részletesebben tárgyalja ezeket a kérdéseket, de csak a matematikai felfedezésekkel foglalkozik ugyanez a szerző *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* c. munkájában (Princeton, 1949).

14. T. S. Kuhn: „A Function for Thought Experiments” in: *Mélanges Alexandre Koyré*. Szerk. R. Taton és I. B. Cohen (Párizs, 1963).

15. A. Koyré: *Études Galiléennes* (Párizs, 1939), I. 46–51. o.; és „Galileo and Plato.” *Journal of the History of Ideas*, IV. (1943), 400–428. o.

16. Kuhn: „A Function for Thought Experiments” in: *Mélanges Alexandre Koyré*. (Lásd a 14. jegyzetet.)

17. Koyré: *Études...* II. 7–11. o.

18. Clagett: i. m., IV., VI. és IX. fejezet.

19. N. Goodman: *The Structure of Appearance* (Cambridge, Mass., 1951), 4–5. o. Érdemes bővebben idézni ezt a részletet: „Ha 1947-ben a 175 és 180 font közötti testsúlyú wilmingtoni lakosok mind vörös hajúak, és csak ők vörös hajúak, akkor a »Wilmington vörös hajú lakosai 1947-ben« és a »Wilmington 175 és 180 font közötti testsúlyú lakosai 1947-ben« kifejezéseket egyetlen meghatározásban lehet egyesíteni... Annak a kérdésnek pedig, hogy lehetett volna-e valaki, akire e predikátumoknak csak az egyike illett volna, nincs jelentősége... mivel már eldöntöttük, hogy ilyen ember nincs... Szerencsére ezzel a végére is jártunk a dolognak; ugyanis egyáltalán nem világos a »lehetőséges« esetek fogalma, azaz az olyan eseteké, amelyek nem léteznek, de létezhetek volna.”

20. H. Metzger: *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Párizs, 1930), 34–68. o.

21. Uo. 124–129., 139–148. o. Daltonról lásd Leonard K. Nash: *The Atomic-Molecular Theory* („Harvard Case Histories in Experimental Science”, Case 4; Cambridge, Mass., 1950), 14–21. o.

22. J. R. Partington: *A Short History of Chemistry* (2. kiadás; London, 1951), 161–163. o.

23. A. N. Meldrum: „The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet’s Doctrine of Variable Proportions.” *Manchester Memoirs*, LIV. (1910), 1–16. o.

24. L. K. Nash: „The Origins of Dalton’s Chemical Atomic Theory.” *Isis*, XLVII. (1956), 101–116. o.

25. A. N. Meldrum: „The Development of the Atomic Theory: (6) The Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton.” *Manchester Memoirs*, LV. (1911), 1–10. o.

26. Proustról lásd Meldrum: „Berthollet’s Doctrine of Variable Proportions.” *Manchester Memoirs*, LIV. (1910), 8. o. A kémiai összetétel és az atomsúly mérésében bekövetkezett fokozatváltozások részletes története még megírásra vár ugyan, de hasznos információkat találhatunk Partington idézett munkájában.

XI. FEJEZET

1. L. K. Nash: „The Origins of Dalton’s Chemical Atomic Theory.” *Isis*, XLVII. (1956), 101–116. o.

2. Newton Galileiről: Florian Cajori (szerk.): *Sir Isaac Newton’s Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World* (Berkeley, Calif., 1946), 22. o. Ezt a részletet érdemes összevetni Galilei saját fejtegetéseivel: *Dialogues Concerning Two New Sciences* (Evanston, III. 1946), 154–176. o.

3. T. S. Kuhn: „Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century.” *Isis*, XLIII. (1952), 26–29. o.

4. Marie Boas: *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* c. munkájában (Cambridge, 1958) részletesen bemutatja, hogy mivel járult hozzá Boyle a kémiai elem fogalmának fejlődéséhez.

XII. FEJEZET

1. Röviden áttekinti a probabilitáselmélet verifikációelméletének fő útjait Ernest Nagel: „Principles of the Theory of Probability” in: *International Encyclopedia of Unified Science*. I. k. 6. sz. 60–75. o.

2. K. R. Popper: *The Logic of Scientific Discovery* (New York, 1959), elsősorban az I–IV. fejezetek.

3. Arról, hogy milyen fogadtatásra talált a görbült tér gondolata a laikusok körében, lásd Philipp Frank: *Einstein, His Life and Times* (New York, 1947), 142–146. o. Azokról a próbálkozásokról, amelyek igyekeztek összeegyeztetni az általános relativitáselmélet előnyeit az euklideszi térszemlélettel, lásd C. Nordmann: *Einstein and the Universe* (New York, 1922), IX. fejezet.

4. T. S. Kuhn: *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), III., IV. és VII. fejezet. Az egész könyv egyik fő témája, hogy a heliocentrikus szemlélet mennyiben volt több pusztán csillagászati kérdésnél.

5. Max Jammer: *Concepts of Space* (Cambridge, Mass., 1954), 118–124. o.

6. I. B. Cohen: *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), 93–94. o.

7. Charles Darwin: *A fajok eredete...* (Magyar Helikon, Bp., 1973), 577–578. o.

8. Max Planck: „Tudományos önéletrajz” in: *Válogatott tanulmányok* (Gondolat, Bp., 1982), 55. o.

9. A napimádat szerepére Kepler gondolkodásában lásd E. A. Brutt: *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (átdolgozott kiadás; New York, 1942), 44–49. o.

10. A hírnév szerepét illetően: Lord Rayleigh – amikor már megalapozta hírnevét – eljuttatta egy írását a British Associationhoz, amelyben az elektrodinamika egyes paradoxonjaival foglalkozott. Amikor először küldte el dolgozatát, figyelmetlenségből nem írta rá a nevét, s el is utasították, mint valami „paradoxongyártó” munkáját. Nem sokkal később, amikor kiderült a szerző neve, a társaság sűrű bocsánatkérések közepette elfogadta a tanulmányt. Lásd R. J. Strutt, 4th Baron Rayleigh: *John William Strutt, Third Baron Rayleigh* (New York, 1924), 228. o.

11. Arról, hogy milyen problémákat vetett fel a kvantumelmélet, lásd F. Reiche: *The Quantum Theory* (London, 1922), II. és VI–IX. fejezet. Az ebben a bekezdésben szereplő többi példa forrását lásd e fejezet korábbi hivatkozásaiban.

12. Kuhn: i. m., 219–225. o.

13. E. T. Whittaker: *A History of the Theories of Aether and Electricity*. I. (2. kiadás; London, 1951), 108. o.

14. Az általános relativitáselmélet fejlődésére lásd uo. II. (1953), 151–180. o. Einstein egy leveléből (P. A. Schipp [szerk.]: *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* [Evanston, Ill., 1949], 101. o.) megtudhatjuk, hogyan reagált arra, hogy kiderült: az elmélet pontosan megegyezik a Merkúr perihéliumának megfigyelt mozgásával.

15. Brahe rendszeréről, amely geometriailag teljesen ekvivalens a Kopernikuszéval, lásd J. L. E. Dreyer: *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2. kiadás; New York, 1953), 359–371. o. A flogisztionelmélet legkésőbbi változataira és sikerükre lásd J. R. Partington és D. McKie: „Historical Studies of the Phlogiston Theory.” *Annals of Science*, IV. (1939), 113–149. o.

16. A hidrogén problémájára lásd J. R. Partington: *A Short History of Chemistry* (2. kiadás; London, 1951), 134. o. A szén-monoxidra I. H. Kopp: *Geschichte der Chemie*. III. (Braunschweig, 1845), 294–296. o.

XIII. FEJEZET

1. E. H. Gombrich: *Művészet és illúzió. A képi ábrázolás pszichológiája* (Gondolat, Bp., 1972), 20–22. o.

2. Uo. 97. o.; és Giorgio de Santillana: „The Role of Art in the Scientific Renaissance” in: *Critical Problems in the History of Science*. Szerk. M. Clagett (Madison, Wis., 1959), 33–65. o.

3. A tudománytörténetek különösen kirívó formában találkoznak ezzel a valósággal. Nemegyszer a természettudomány-szakos hallgatók közül kerülnek ki a legjobb tanítványaik, de eleinte általában ők a legnehezebb tanítványok is. Mivel ezek a diákok „tudják a helyes választ”, különösen nehéz rávenni őket, hogy régebbi korok tudományát annak saját fogalmai szerint értelmezzék.

4. Loren Eiseley: *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It* (New York, 1958), II., IV–V. fejezet.

5. A. Hunter Dupree: *Asa Gray, 1810–1888* c. könyvében (Cambridge, Mass., 1959) rendkívül szemléletesen számol be arról, hogyan küszködött ezzel a problémával egy kiváló darwinista. (Lásd 295–306., 355–383. o.)

UTÓSZÓ

1. Ezt az utószót eredetileg hajdani tanítványom és régi barátom, dr. Shigeru Nakayama (Tokiói Egyetem) ösztönzésére írtam. Könyvemét ő fordította japánra, és az utószó először ebben a japán nyelvű kötetben jelent meg. Hálás vagyok neki az ötletért, azért, hogy volt türelme kivárni, amíg megvalósult, és azért, hogy hozzájárult az utószó közléséhez munkám angol nyelvű kiadásában.

2. A mostani kiadás számára meg sem próbáltam módszeresen átdolgozni munkámat; csak néhány nyomdahibát javítottam ki, és két olyan szövegrészt, amelyekben a könyv egészétől független tévedések voltak. Az egyik a 43. skk. oldalakon található leírás arról, hogy milyen szerepe volt Newton *Principiájának* a XVIII. századi mechanika fejlődésére, a másik pedig a válságokra adott választ érinti (VIII. fejezet).

3. További utalások találhatóak két újabb tanulmányomban: „Reflections on My Critics” in: Imre Lakatos és Alan Musgrave (szerk.): *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970); és „Second Thoughts on Paradigms” in: Frederick Suppe (szerk.): *The Structure of Scientific Theories* (Urbana, Ill., 1970 vagy 1971). Az elsőként említett tanulmányra így fogok hivatkozni: „Reflections”, a kötetre pedig, amelyben megjelent, így: *Growth of Knowledge*; a második tanulmányra pedig így fogok hivatkozni: „Second Thoughts”.

4. A paradigma fogalmának az eredeti szövegben szereplő leírását különösen alaposan bírálja: Margaret Masterman: „The Nature of a

Paradigm" in: *Growth of Knowledge*; és Dudley Shapere: „The Structure of Scientific Revolutions.” *Philosophical Review*, LXXIII. (1964), 383–394. o.

5. W. O. Hagstrom: *The Scientific Community* (New York, 1965), IV. és V. fejezet; D. J. Price és D. de B. Beaver: „Collaboration in an Invisible College.” *American Psychologist*, XXI. (1966), 1011–1018 o.; Diana Crane: „Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the »Invisible College« Hypothesis.” *American Sociological Review*, XXXIV. (1969), 335–352. o.; N. C. Mullins: *Social Networks among Biological Scientists* (Ph. D. disszertáció, Harvard Egyetem, 1966) és „The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group” (az American Sociological Association évi közgyűlésén tartott előadás, Boston 1968).

6. Eugene Garfield: *The Use of Citation Data in Writing the History of Science* (Philadelphia, Institute of Scientific Information, 1964). M. M. Kessler: „Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing.” *American Documentation*, XVI. (1965), 223–233. o.; D. J. Price: „Networks of Scientific Papers.” *Science*, CII (1965), 410–515. o.

7. Masterman: i. m.

8. Ennek a vitának néhány fontos részletére lásd T. M. Brown: „The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics.” *Historical Studies in the Physical Sciences*. I. (1966), 61–103. o.; és Morton Schagrin: „Resistance to Ohm's Law.” *American Journal of Physics*, XXI. (1963), 536–547. o.

9. Elsősorban a következő írásokra gondolok: Dudley Shapere: „Meaning and Scientific Change” in: *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy. The University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science*. III. (Pittsburgh, 1966), 41–85. o.; Israel Scheffler: *Science and Subjectivity* (New York, 1967); valamint Sir Karl Popper és Imre Lakatos tanulmányai a *Growth of Knowledge* c. kötetben.

10. Lásd a XIII. fejezet elejét.

11. A példára vonatkozóan lásd: René Dugas: *A History of Mechanics* (Neuchâtel, 1955), 135–136., 186–193. o.; valamint Daniel Bernoulli: *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii opus academicum* (Strasbourg, 1738), III. rész. Arról, hogy milyen mértékben járult hozzá a mechanika XVIII. századi fejlődéséhez az, hogy bizonyos problémákat más, már megoldott problémák mintájára igyekeztek megoldani, lásd: Clifford Trusdell: „Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error and Failure in Newton's Principia.” *Texas Quarterly*, X. (1967), 238–258. o.

12. Néhány utalás található a „Second Thoughts”-ban.

13. Ha minden törvény olyan volna, mint Newton törvényei, és minden szabály olyan, mint a tízparancsolat, akkor talán egyáltalán nem kellene ezt kiemelni. Ebben az esetben képtelenség volna „a törvény megsértése” kifejezés, és a szabályok elvetése nem tűnne

szükségképpen törvény által nem szabályozott folyamatnak. Sajnos, a közlekedési szabályokat és a hasonló jogi törvényeket meg lehet szegni, s ez könnyen zűrzavart okoz.

14. A „Second Thoughts” olvasóit talán a következő, rejtélyesnek tűnő megjegyzések is eligazítják. Ahhoz, hogy közvetlenül fölismerhessük a természetes családok tagjait, az szükséges, hogy az idegrendszeri feldolgozás után a megkülönböztetendő családok között üres hely legyen az érzékelési térben. Ha például folyamatosságot észlelnénk a vízimadarak osztályozásában a libáktól a hattyúkig, kénytelenek volnánk bevezetni egy külön kritériumot, hogy megkülönböztethessük őket. Ugyanez a megfontolás érvényes a közvetlenül nem megfigyelhető entitásokra is. Ha egy fizikai elmélet semmi másnak a létezését nem ismeri el, csak az elektromos áramét, akkor kisszámú, bár esetenként jelentős mértékben változó kritérium elegendő lehet a villanyáram azonosításához, még ha nincs is az azonosítás szükséges és elégséges feltételeit meghatározó szabálygyűttesünk. Ennek az állításnak van egy talán még fontosabb plauzibilis következménye. Ha ismerjük egy elméleti entitás azonosításának szükséges és elégséges feltételeit, akkor helyettesítéssel kiiktathatjuk ezt az entitást az elmélet ontológiájából. Ilyen szabályok hiányában azonban nem küszöbölhetők ki ezek az entitások; ebben az esetben az elmélet előírja létezésüket.

15. A most következőkkel részletesebben a „Reflections” V. és VI. fejezetében foglalkoztam.

16. Lásd a 9. jegyzetben idézett munkákat, valamint Stephen Toulmin tanulmányát a *Growth of Knowledge*-ben.

17. A fordítás legtöbb idevágó aspektusáról már klasszikus forrás: W. V. O. Quine: *Word and Object* (Cambridge, Mass. és New York, 1960), I. és II. fejezet. Úgy tűnik azonban, Quine azt feltételezi, hogy két emberben ugyanolyan inger hatására szükségképpen ugyanolyan érzet alakul ki, így kevés mondanivalója van arról, hogy a fordítónak mennyire kell képesnek lennie annak a világnak a leírására, amelyre az eredeti nyelv vonatkozik. Az utóbbi kérdésre lásd E. A. Nida: „Linguistics and Ethnology in Translation Problems” in: Dell Hymes, (szerk.): *Language and Culture in Society* (New York, 1964), 90–97. o.

18. Shapere: „Structure of Scientific Revolutions” és Popper tanulmánya a *Growth of Knowledge*-ben.

19. Erre vonatkozóan egy példa a sok közül P. K. Feyerabend tanulmánya a *Growth of Knowledge*-ben.

20. Stanley Cavell: *Must We Mean What We Say?* (New York, 1969), I. fejezet.

21. Ezzel a kérdéssel foglalkozik és részletesen taglalja a tudomány sajátosságait T. S. Kuhn: „Comment on the Relations of Science and Art.” *Comparative Studies in Philosophy and History*, XI. (1969), 403–412. o.