

REFLEXIÓK

Úgy mondják — legalábbis az érdekeltek —: csupán a költőket, művészeket és a tudomány embereit éri az a kitüntetés, hogy munkájuk teljes kielégülést nyújt számukra; életüket örömmel és elégtétellel tölti ki. Wigner Jenő Nobel-díjas fizikus szerint azonban¹ az említettek közül is valóban boldogok csak a tudósok. Azért ők — mondja a nagynevű fizikus —, mert csak számukra adatott meg a Földön, hogy teljességgel élvezhessék a természeti jelenségek és folyamatok mélységeit, hogy lényegében megértsék és mélységében átéljék e folyamatok nagyszerűségét. Ez az egyetlen élvezet — Wigner szerint —, amely az igazi boldogság és a maximális kielégültség mások számára elérhetetlen csúcsait nyújtja azoknak, akik élni tudnak vele.

S gondolatait még tovább is fűzi: a maximális élvezet csupán azok számára adatott — állítja —, akik a jelenségek alapvető összefüggéseit felfedezik és újra-élik, függetlenül attól, hogy továbbadják-e másoknak vagy sem.

Lehet, hogy Wignernek igaza van; mindenesetre ez az álláspont, úgy tűnik, a tiszta tudomány mellett tör lándzsát, a l'art pour l'art-kutatás és a tudomány belső önfejlődését hirdeti.

Érdekes, hogy látszólag ellentétben ezzel az állásponttal Wignernek egy másik gondolata is teret hódít: a „piszkos kezű“ tudós eszménye, annak a gondolkodónak jelképe, aki nem áttal „leszállani“ a termelés forgatagába, abból meríteni gondolatait, tudását és eszméit átadni a termelőknek, hogy közvetlenül értékesítse a tudományt egy szüntelenül megújuló technológia folyamatában.

Íme, az elefántcsonttorony antipódusa, a tudomány fejlődésének társadalmi hajtóereje, a társadalom történetének és a tudomány sikereinek mélyenfekvő kapcsolata. Íme, egy harmonikusan együttélő, különben ellentmondónak tűnő felfogásbeli kettősség a nagy tudósnál — és nemcsak nála.

A látszatok itt valósággá válnak, és eredetiségük közhelynek tűnik, mihelyt a dolgokat — és a történelmet — kissé alaposabban vesszük szemügyre.

A történelemre vonatkozó állítás különben pontosabb meghatározást kíván.

A tudomány — mint olyan — a maga történetét éli. Az emberiség — a maga részéről — ugyancsak éli a sajátját: egy politikait és még sokfajta más történelmet. Még a tudomány is osztható: a fizikának például megvan a maga sajátos története. Állításunk pontosabb meghatározását éppen ez az oszthatóság igényli: milyen sajátos ez a „történelem“, és mennyire „más“ ez, mint az összes többi.

Nemrég még általánosan elismert volt a következő tézis: valamely tudomány története bonyolult, de fejlődése mégis összehasonlíthatatlanul egyszerűbb a politikai történelemnél. Az érvek bőségét lehetett felhozni, és ezek meggyőzőnek is tűnhettek: a tudomány belső koherenciája, külső paramétereiktől való viszonylagos (egyese-

¹ Eugen Wigner: *The Growth of Science — its Promise and its Dangers*. New York, 1965.

szerint abszolút) függetlensége, korlátolt és pontosan körülhatárolt tárgya, valamint — de nem utolsósorban — a fejlődést szabályozó törvényszerűségek ellentmondásmentes belső logikája.

Úgy tűnik azonban — legalábbis a fizika szféráján belül —, hogy ez a tézis túlhaladott. Fő érveink lényegében az utóbbi harminc év eseményeire épülnek, és elsősorban a nagyhatalmak között kialakult erőegyensúlyra mint általában a tudomány és különösképp a fizika fejlődésében fellépő harmadik (s talán a jelen pillanatban döntő) tényezőre. Az első kettő már régebbi és közismert: a belső és specifikus tényező, az önfejlődés, a külső és általános tényező, a társadalom.

A harmadik — az erőegyensúly tényezőjének fellépése — súlyos következményekkel jár: a tudomány és politika mind szorosabb összefonódásával s a tudomány feltételezett viszonylagos függetlenségének egyre hangsúlyozottabb elvesztésével.

A harmadik tényező — mint az első kettőtől eltérő, fejlődést meghatározó — fellépése ellen alapvető érveként a következők hozhatók fel: lényegében ez a tényező nem független, hanem része a második — általános — tényezőnek, azaz a társadalomnak (mint tényezőnek).

Ez az érv több oknál fogva nem tartható fenn.

Mindenekelőtt a függetlenség fogalma (ebben az értelemben) mindig relatív. A társadalom (mint a fizikát fejlesztő tényező) fogalmába minden belefér. De fejlődésmeghatározó értelemben ma — amint ezt a fizika története révén bizonyítani kívánjuk — a nagyhatalmi erőegyensúly teljeseen új, eddig nem szereplő és döntő tényezőként lép föl a tudomány (és a fizika) fejlődése során.

A társadalom a fizika fejlődésére elsősorban mint termelés hat, pontosabban mint társadalmi termelési mód. Az erőegyensúly — mint tényező — azonban mindenekelőtt két (legalább két) antagonistá termelési mód koegzisztenciáját tételezi fel, és a (tudományos) fejlődés motorja (a harmadik tényező értelmében) éppen ez a koegzisztencia, függetlenül a társadalmi termelés egyik vagy másik módjától.

A tudomány és politika viszonyának módosulását azonban nem a békés, fogyasztási javak termelési egyensúlya (mint a két termelési mód koegzisztenciájának következménye) vonja maga után, hanem a harci eszközök termelési egyensúlya.

A tudomány története általában — és sajátosan a fizikáé — egyre bonyolultabbá válik. Abban a mértékben, ahogy a tudomány és politika viszonya mind szorosabbra fűződik, a politikai tudomány és tudománypolitika közti határvonal egyre homályosul, a tudományok története mindjobban kezd hasonlítani a politikai történelemhez. Allíthatjuk, hogy korunkban a fizika története ugyanolyan komplikálttá válik, mint a politikai történelem. S e fejlődés döntő tényezője éppen a nagyhatalmi erőegyensúly fellépése.

A további elemzésnek kell majd eldöntenie, vajon e fejlődés során a fizika — relatív függetlenségének valószínű elvesztése mellett — elveszti-e belső koherenciáját is, pontos és korlátozott tárgyát, és különösképp a fejlődését irányító törvényszerűség között működő, ellentmondásmentes belső logikáját?

A felvetett probléma nem tűnik sem túl könnyűnek, sem egyszerűnek.

A tudomány fejlődése nem tárgyalható a társadalmon kívül. Az emberek, akik a fizikát — valamint a tudomány bármely más ágát — művelik és alkalmazzák, a társadalmon belül születnek, alkotnak és halnak meg. Egész tevékenységüket az a társadalmi környezet feltételezi és határozza meg, amelyben élnek. Tudományos eszközeik, laboratóriumaik — még az elméletiek is (sőt talán elsősorban azok) — valamely emberi közösség tevékenységének termékei. És e helyen a hangsúly éppen azon a társadalmi környezeten van, amelynek a tudomány embere éppen részét

alkotja, egész — tudománynak nevezett — tevékenységével egyetemben. A politikai történelem és a tudomány fejlődése ebben az értelemben és éppen ezért a múltban sem alakult egymástól függetlenül.

De csak ebben az értelemben.

A múlt figyelmesebb elemzése ugyanis azt mutatja, hogy lényegében a tudomány — és itt is elsősorban a fizikára utalunk — majdnem mindig belső szükségletektől és törvényszerűségektől hajtottan, a társadalmi rendelestől viszonylagosan függetlenül fejlődött, és durva vulgarizálás volna, ha elfogadnók a társadalmi rendelest mint egyetlen, közvetlen és önműködő tényezőt a fizika történetének alakulásában.

De még ennél is tovább mehetünk. Építve a jelenre és figyelmesen vizsgálva a jövőt — anélkül, hogy steril jóslatokba bocsátkoznánk —, előre látható a fizika egyre specializáltabb ágankénti fejlődésében az önfejlődés szerepének erősödése, mely ugyanakkor összefonódik egyes közvetlen társadalmi szükségletekkel — de gyorsan meg is szabadul azoktól —, hogy magától az anyag belső, intim, imponderábilis törvényszerűségeitől hajtva és kényszerítve folytassa önfejlődésének sajátos útjait.

Ez a folyamat úgy tűnik, hogy a jövőben — és nem is olyan túlságosan távoli jövőben — visszájára fogja fordítani a viszonyt az adott társadalom és tudomány között. A társadalmi rendelés helyett mint a tudomány fejlődésének motorja fel fog lépni a tudományos rendelés mint a társadalom fejlődését előrehajtó tényező, s így válik majd valójában a tudomány közvetlen termelőerővé, s talán éppen a leglényegesebbé.

Max Planck — a kvantumok atyja — J. Woodhoz intézett egyik levelében² 1931. október 7-én bevallja „kétségbeesett tettének“ — a hatáskvantum fizikában történt bevezetésének — mélyreható okait: „Akkoriban — 1900-at írtunk — már körülbelül hat éve ütdözött az anyag és sugárzás közti egyensúly problémájának riasztó, sőt fenyegető helyzete. A dolgokat kibékíteni akaró minden kísérletem kudarcba fulladt. Tudtam, hogy a problémának kulcsszerepe van a fizikában, ismerem a normál spektrumban az energia eloszlásának helyes képletét, de mindenáron elméleti értelmezését kellett találnom a jelenségnek, függetlenül azoktól az áldozatoktól, amelyeket ennek érdekében hoznom kellett.“ A továbbiakban Planck leírja, miképpen áldozta fel a fizika addig elfogadott tételeit a helyzet megmentése végett — vigyázva azonban arra, hogy a termodinamika két alaprincipiumát ne érintse: az elsőt, amely lényegében az energia mennyiségi megmaradásának elve és a másodikat, amely a fizikai folyamatok lefolyásának irányát szabja meg. Sokkal később³ a kiváló fizikus leírja, hogy mi történt vele „kétségbeesett tettének“ elkövetése után: „1900 után még sok-sok évet dolgoztam, és hihetetlen mennyiségű energiát pazaroltam azokra az eredménytelen és lényegében értelmetlen kísérleteimre, melyek azt célozták, hogy összeegyeztessem az elemi hatáskvantumot a klasszikus fizika tételeivel. Később számos kollégám úgy tekintette ezeket az erőfeszítéseket, mint személyes tragédiámat. De engedjék meg, hogy én másként értékeljem ezt a periódust. Meg vagyok győződve arról, hogy áldozataim révén valami sokkal értékesebbet találtam, mint a már említett negatív eredményt. Csak most —

² Martin J. Klein: *Thermodynamics and Quanta in Planck's Work, Physics Today*, 1966. 19. 11.

³ Max Planck: *Scientific Autobiography and Other Papers. Philosophical Library. New York, 1949.*

annyi év értelmetlen keresése és őrli vívódásai után — tudom, hogy a hatáskvantum sokkal nagyobb szerepet játszik a fizikában és sokkal mélyebb a jelentősége az általános emberi gondolkodás számára, mint azt én valaha is gondolni mertem volna, s ez ma bizonyított tény.”

A nagy tudós profétikus eszméi ma, s talán holnap még inkább, mint ma, nemcsak bizonyított tények, hanem jelentőségükben korszakalkotóak. A fizika forradalma, melyet Planck hatáskvantuma indított el és Einstein relativitáselmélete folytatott, egyre mélyebbre hatol az emberi gondolkodás alapjaiba, s többek között egy új logika — a polivalens logika — alapelemévé válik. Ez a forradalom ma már egyre inkább áthatja a tudományt s holnap egyre inkább áthatja a társadalmat is.

Jellemző az a tény, ahogyan a kvantumok ideája a társadalmi rendelés hatására fellép, majd attól függetlenül magát belső törvényei szerint fejlődik tovább, egyre jobban szétterjedve a tudományágak között, hogyan hatol be az emberi általános gondolkodásba és válik ezzel a fejlődés egyik motorjává.

Csaknem a XIX. század végéig szinte egyetlen fizikai folyamat sem követelte a kvantumokhoz hasonló diszkontinuitás hipotézisének felállítását. Egyes ókori filozófusok, mint Abderai Démokritosz (i.e. 420) vagy Gassendi (1592—1655) nézetei nem tekinthetők megalapozott és a tudomány belső vagy külső szükségleteiből fakadó tudományos hipotézisnek. Csak a hőelmélet megalapozása és a XIX. század közepe és vége felé a termodinamika principiumainak első megfogalmazása után lépnek fel bizonyos belső és külső (most már elháríthatatlannak tűnő) ellentmondások. És itt nem csupán a fizika építményének bizonyos belső problémáiról van szó, hanem valódi társadalmi rendelésről: a hőjelenségek alkalmazásáról a termelésben. Felépnek a kazánok melegítésének, a fémek esztergálása és gyalulása során adódó hő kibocsátásnak, a motorok hűtésének és különösen teljesítményének, egyszerűen a hőszállításnak alapvető problémái. A gyakorlatilag tapasztalt és elméletileg a klasszikus fizika nyújtotta megoldások közti evidens szakadék kényszeríti a fizikát olyan erőszakolt megoldások „felfedezésére”, amelyek ideig-óráig hivatottak megmenteni a klasszikus fizika alapjait.

Az elmondottakkal párhuzamosan és tőlük látszólag függetlenül egy másik — optikai, vagy ahogyan ma neveznek, spektroszkópiái és anyagszerkezeti — természetű problémakomplexum is fellépett, amely sokkal kevésbé volt társadalmi rendeléshez kötve, s inkább az elektromágneses sugarak — maxwelli — hatalmas elméleti építményéből fakadt. Ebben a tartományban már 1890-ben megjelenik a színeképek empirikus magyarázata a Rydberg—Balmer frekvenciatörvény révén, anélkül, hogy a legcsekélyebb utalást tartalmazná a kvantumokra vagy egyéb diszkontinuitásra, és valamelyest konzekvens értelmezésére csupán 18 év múlva kerül sor a Walter Ritz-törvényben. Bekapcsolása a kvantumelméletbe csak Niels Bohr 1913-as atomelméletével indult meg, és a két irányzat következetesen és véglegesen csak a Heisenberg—Schrödinger-féle kvantumelméletben egyesül 1925—1927-ben.

De míg ennek a második irányzatnak (elektromágneses sugárzás) a fejlődése — legalábbis elméletben és egy bizonyos fokig — lehetséges lett volna Planck, illetve Einstein hipotézise nélkül is, addig az első irányzatnak (hőszállítás) a fejlődése elképzelhetetlen volna a kvantumhipotézis konzekvens alkalmazása nélkül.

A kvantumhipotézis tehát határozottan társadalmi rendelésre születik. További története azonban más hajtómotorokra utal: elsősorban a belső — a tudomány klasszikus önfejlődési szabályai szerinti — fejlődést ösztönző tényezőkre, melyek időnként ugyan lökést kapnak egyes külső társadalmi szükségletektől, de lényegében sajátos törvények szerint zajlanak.

Az önfejlődés első impulzusát Albert Einstein munkái szolgáltatták 1905-ben amikor is teljesen elméleti megfontolások révén kvantálja az energiát, s bevezeti a fotont a sugárzás épületébe.

A gondolati lavina elindult, a kísérletiek és elméletiek tovább fejlesztik az eszmét. Sorra, ha szabad így kifejeznünk magunkat, rohammal beveszik a fizika különböző tartományait, majd a rokontudományokat. A termodinamikából és sugárzáselméletből a kvantumok behatolnak az atomba, rajtuk keresztül az anyag szerkezetébe és a spektroszkópiába, ahonnan a kémiát és biológiát veszik birtokukba, miközben feszíteni kezdik a klasszikus matematika kereteit is. Dirac bevezeti a disztribúciókat, és ma már a tér és idő kvantálása van napirenden.

De mi az összefüggés mindezek és például a Pauli-féle kizárási princípium vagy a Feynman által az anyag legbelső kvantumfolyamatai leírását szolgáló modern diagram-technika között?

Látszólag semmi. Messze vagyunk már a társadalmi rendelés előidézte Planck-féle hatáskvantum hipotézisétől, s az újabb eredményekben szinte már fel sem ismerhető a kezdet.

Mégis van egy belső, mély kapcsolat a felsorolt jelenségek között, egy szoros összefüggés a fizika fejlődését a továbbiak során irányító logikai szükségszerűségek és a véletlen, esetleges események között.

Richard Feynman, az 1965-ös fizikai Nobel-díj kitüntetettje, a díjkiosztás alkalmával elmondott értekezésében⁴ mély szubjektivitással elemzi az ilyen helyzeteket: „Mindig különösnek tűnt előttem az, hogy a fizika alapvető törvényei olyan változatos formákat ölthetnek, melyek kezdetben egymástól teljesen függetlennek látszanak, majd rövid matematikai elemzés után kitűnik a közöttük fennálló szoros kölcsönhatás... Én nem tudom eldönteni, miért van ez így, de úgy vélem, e helyzet valahogyan éppen a természet belső egyszerűségét tükrözi... Egy dolog valószínűleg annál egyszerűbb, minél többféleképpen írható le egyazon időben anélkül, hogy mindjárt gyanítanád, hogy ugyanazt a dolgot írtad le...”

Eredeti ötletéről, mely kitüntetett felfedezéséhez vezetett, Feynman így vall: „Még diákkoromban született meg bennem, akkor, amikor úgy tekintettem a dolgokat, amint azok vannak, tele hibákkal és nyitott kérdésekkel, problémákkal, és kéteyekkel, s nem úgy, amint az ma általában szokás, azaz természetellenesen, mintha minden tökéletes és megoldott volna. Az ötlet akkor végtelenül egyszerűnek és elegánsnak tűnt nekem — tüstént beleszerettem...”

Valaki azonban joggal megkérdézhetné tőlem, mi történt volna az elektronnak önmagával való kölcsönhatásával, ha én akkor ifjú koromban, nem szerettem volna belé? Azt válaszolnám a kérdezőnek, hogy bizony ez az ötlet is megöregedett volna, mint az asszony, és akkor már nem lett volna olyan vonzó, hogy a mai ifjúságnak megdobbanjon a szíve, amikor rátekinthet. Ugyanakkor azonban az idősebb asszonyokról sok szép dolgot kell elmondanunk, mert jó anyák ők és időnként néhány nagyszerű gyermeknek adnak életet...”

A tudományok történetét pontosan azért szokás tanulmányozni, hogy jobban megérthessük magát a tudományt. A fizika — mint tudomány — nem létezett mindig, s úgy tűnik, nem is fog — mint olyan — örökké létezni. Történelmi kate-

⁴ Richard P. Feynman: *The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics. Physics Today, 1966. 19. 8.*

gória, tehát, éppoly mulandó, mint sok egyéb. Története azonban tele van tanulságokkal, s ez a tulajdonsága teljes figyelmet érdemel.

Az első fizikus ezen a földön — amint azt mondani szokás — alexandriai Héron volt (körülbelül i.e. 100), aki még egy gőzmasinát is feltalált. A fizikát mint tudományt azonban Isaac Newtontól szokták számítani (1642—1727). Korában s még vagy 200 évig azután a fizikáról mint egységes, pontos, és jól meghatározott tárggyal rendelkező koherens tudományról szokás beszélni. A tudományok történetének ez az idillikus korszaka — úgy tűnik — ma már végleg a múlté.

A tudományok tudománnyá válásának problémája nagyon sokat vitatott és ellentmondásosan tárgyalt kérdése a történelemnek. A jelen szerény reflexiók — amint egyetlen érintett kérdésben sem lépnek fel a teljesség igényével — nem óhajtják a legcsekélyebb mértékben sem kimeríteni a fizikai tudományok tudománnyá válásának problémáját sem. Úgy véljük azonban, érdemes e kérdésnek legalább három aspektusát felvetnünk, mert ezek egyrészt egyértelműen elfogadottak, másrészt jól előkészítik az alapprobléma — a fizika és társadalom kapcsolata — három tényező hipotézisének bizonyítását.

Valamely tudomány akkor válik valóban tudománnyá — s ez a fizikára, mely a matematika után a legegzaktabbnak tekintett tudomány, különösképpen érvényes —, amikor állításai algoritmizálhatók, törvényszerűségei axiomatizálhatók és az általa tanulmányozott folyamatok modellálhatók.

A matematikának, a természeti jelenségek valamelyik kutatási ágába való behatolása sine qua non feltétele annak, hogy ez a kutatási ág a szó valódi értelmében tudománnyá váljék.

A görög filozófusok csillogtak a minőségek területén. Ők nem is óhajtottak többet; elsődleges céljuk éppen a minőségi lényeg feltárása volt. Arisztotelész „anyagelméletében“ a négy elem: a tűz, a levegő, a víz és a föld szüli az anyag minden tulajdonságát. Mindazon homályos kutatásokat, melyeket a XVII. század közepéig olyan jelenségeken végeztek, amelyek később a fizika körébe kerültek, ezek a minőségi ideák uralták, anélkül, hogy a kutatók bármit mennyiségileg ki tudtak volna számítani, vagy ilyen pretenciója lett is volna valakinek egyáltalán. Egyenesen meglepő, és itt elsősorban valóban a társadalmi rendelés hiánya a hibás, hogy a mennyiségi kalkulus, mely már a geometriában közel 2000 éve csodákat művelt (Euklidész már i.e. 300-ban megpróbálta az első axiomatizálást), nem képes behatolni az anyag szerkezetének tulajdonságaira vonatkozó vizsgálatokba. Néhány empirikus kísérlet, itt-ott néhány kíváncsi megfigyelés, mely minden összefüggést nélkülöz, ez volt — a spekulációkon kívül — minden. De még csak meg sem kísérelték a jelenségek mennyiségi analizését. A matematika mennyiségi elemzésével való kontaktus teljes hiánya, a kísérletek és megfigyelések empirizmusa tehát a tudományokban általában és a fizikában különösképpen lényegében meggátolt minden fejlődést egészen a XVII. századig. A kor gondolkodói mindent „megteoretizáltak“, a megfigyelt jelenségeket steril frazeológiába burkolva kommentálták, és esetleg megkísérelték egyes természeti jelenségek vagy folyamatok „in vitro“ reprodukálását. Böbeszédűen ecsetelték a megfigyeléseket, „érdekes“ történeteket meséltek olyan dolgokról és jelenségekről, melyeket sohasem voltak képesek kiszámítható és a gyakorlattal összeegyeztethető modellekbe önteni.

Természetesen súlyos hiba volna e korszakot teljesen meddőnek értékelni, és ugyancsak szerénytelenség volna korunkat úgy feltüntetni, mint a tudomány fénykorát, mely előtt minden játékosan könnyű, s utána már semmi lényeges sem

jöhet. A tudományok történetében mindig kockázatos dolog volt valamely hierarchizálás, ma is az, és mindig az is lesz.

De a tudomány — a szó mai értelmében vett — tudománnyá válásának elemzése során mégis ki kell domborítanunk azt a tényt, hogy Newton volt az első, akinek sikerült leraknia az alapját egy a természetet egységesen felfogó elméletnek, mely egy megfelelő matematikai módszer révén teljesen kiszámítható modellen alapult, úgyhogy az egész elmélet egy jól meghatározott axiómarendszeren belül ellentmondásmentes törvényekre támaszkodott.

A tudománnyá válás e három lényeges elemének egyidejű megjelenése emeli első ízben a természettudomány rangjára a fizikát. És az úttörés e nagyszerű korszakában — melyet elsősorban a mechanika erőteljes fejlődése jellemez — kell kiemelnünk történetünk egyik alapvető jellemzőjét. Ez az aspektus a tudományok relatív függetlenségéhez kapcsolódik.

A tudomány éppen ebben a periódusban válik a többi társadalmi tevékenységtől viszonylagosan függetlenné. Ebben a függetlenné válásban a fizika érdemei vitathatatlanok. Az a két és fél száz év Newtontól errefelé, melyet az „idillikus” jelzővel illetünk, éppen ebből a szempontból volt idillikus. Annak a társadalomnak, melynek kontextusából a fizika is kinőtt, politikai történelme a fizika fejlődésétől relatíve függetlenül tör magának utat az évtizedek egymást követő tumultusában, még akkor is, ha időnként egy-egy „társadalmi rendelés” meg-megböki egyik vagy másik ágon a tudományos fejlődést.

A tagadhatatlan newtoni autoritás — minden más említett érdemének elismerése mellett is —, akárcsak az Arisztotelész utáni korszakban, hosszú ideig fékezi a fizika fejlődését, s e tudománynak csakis azon ágai kezdenek önálló fejlődésbe és válnak később a modern elméletek csiráivá, melyekhez ő maga életében nem nyúlt (itt elsősorban a termo- és elektrodinamikára gondolunk). Mint már említettük, a termodinamika kezdeti szakaszaiban szorosan kapcsolódik a társadalmi szükségletekhez. Ezzel szemben az elektrodinamika egészen másként fejlődik; egyes gondolkodók „játékszereiből” tudománnyá csak Maxwell megjelenése után vált, és e folyamatnak igen kevés köze van a társadalmi rendeléshez. Ő maga abszolút elméleti ember, aki elsősorban csupán a felfedezett jelenségek belső szükségszerűségeitől és a közöttük levő kapcsolatoktól, valamint az általa és mások által modellált folyamatok belső logikájától hajtva pontos és zárt matematikai algoritmusba öntve axiomatizálja mindazon törvényszerűségeket, melyeket elődei empirikusan fedeztek fel.

De a fizika viszonylagos függetlenségének kialakulása ebben az idillikus korszakban legvilágosabban az anyagszerkezet keretei között követhető.

Az anyag folytonos vagy diszkrét jellegének problémája (már maga az, hogy az anyagnak van szerkezete) valójában akkor lépett elő, amikor a fémkohászat gyakorlati szükségletei mint társadalmi rendelés ezt megkívánták. Nem beszélve a filozófusok és különböző többé-kevésbé alkimista középkori mesterek naiv hipotéziseiről és minőségi kombinációiról, a fémkohászat és tudomány kapcsolatáról csak akkor kezdetünk valóban beszélni, amikor ez utóbbi a tudománnyá válás folyamatában és viszonylagosan függetlenné válása során mint önálló tudományág — a fizika — a színtérre lépett.

De hosszú ideig még ez a kapcsolat is csak úgy jellemezhető, mint „a tudomány fényeit nélkülöző vak technológia”⁵. A fizika és az ipari technológia, illetve fémkohászat viszonyának hosszú évszázadokon át „fázisban eltérő” jellege van. A

⁵ A. Mussard: *La politique de recherche de l'entreprise. Etudes et Documents du CNBOS. Paris, 1964.*

kísérleti kutatások (hogy az elméletiekről ne is beszéljünk) állandó eltolódást mutatnak az ipari technológia igényeihez és szükségleteihez képest. Hol az egyik van elől s a másik marad le, s hol fordítva, de leginkább az utóbbi helyzet jellemző majdnem mind a mai napig e viszonyra. A XVIII. és XIX. század fémkohászata még jóval azelőtt, hogy a fizikus egyáltalán érdeklődni kezdett volna utánuk, empirikusan ismer egy sor olyan fizikai jelenséget, mely bensőleg kapcsolódik munkájához. A plasztikus és rugalmas deformációk, e tulajdonságok függése valamely próbaanyag szemcsés jellegétől, szennyeződésétől és más szerkezeti jellegektől; mind olyan problémák, amelyek a kor fémkohászatait izgatják, és szükségzerűen valamely primitív anyagszerkezeti modell felállítását szorgalmazzák, amivel megmagyarázhatók a tapasztalt jelenségek. A XIX. század technológiája már bizonyos mértékben tagadhatatlanul profitált a fizikából mint tudományból. A felállított modellek közelítéskor kétségtelenül figyelembe vették a mechanika, termodinamika és néha az anyag elektromos és mágneses tulajdonságaiból leszűrt általános ismereteket is. Ez az a kezdet, ahol először jelentkezik a tudomány hatása a technológiára.

Ebben a kezdeti szakaszban a fizikusok, kohászimesterek és néha még a filozófusok is, egyes geometriai formák, méretek és a közöttük fellépő kölcsönhatások feltételezett összefüggéseit felhasználva még tisztán minőségi alapon vezetik le a fémek és más használt anyagok modelljeinek tulajdonságait. Ilyenformán sikerült megállapítaniuk, hogy ha minden egyes esetben külön-külön helyesen választják ki a megfelelő formákat, méreteket és a feltételezett kölcsönhatásokat, valamint az alkalomnak megfelelő dimenziókat használnak, akkor az így kreált modell minőségileg pontosan úgy viselkedik, ahogyan ezt az adott helyzet megköveteli. Így kezd az antik és annak idején teljesen zavaros atomizmus gondolata új, tisztább formákat öltetni, és először az elektron (1894), majd az atom- (1897), később a molekula- és a kristályszerkezet alakjában (eltérően a kezdeti szakasz elméleti filozófiai síkon idealizált eszméitől) bevonul az ipari termelés gyakorlati technológiájába.

A fejlettebb szakasz akkor következik be, amikor e fizikai-geometriai modelleket a felsőbb matematika elemeivel kombinálják. Ekkor azonban új éra kezdődik a fizikában, melyet e tudomány kettéhasadásának korszaka jellemez: kísérleti és elméleti fizika külön-külön létjogosultságot kap, és ebben a szakaszban éri el csúcspontját a fizika viszonylagos függetlenné válása is. Ebben a korszakban élünk ma, de talán már látjuk e kor alkonyát. Nincs oly messze már az az idő, amikor a kísérleti és elméleti fizika közötti szakadék áthidalásával egyidőben valószínűleg végérvényesen eltűnik a fizika feltételezett viszonylagos függetlensége is.

További reflexióink felölelik majd a fizika történetének újabb fejezeteit, bizonyítva kiinduló tételünket: a nagyhatalmi erőegyensúly mint a fejlődés harmadik tényezője ma döntő tényezővé vált a tudománynak — és ennek révén mint közvetlen termelőerő — a jövő társadalmának fejlődésében is.