

Axiómák és modellek szerepe a fizikai megismerésben

GYARMATI ISTVÁN és SÁNDOR JÁNOS

Bevezetés

Az egzakt természettudományok és különösen a fizika újabbkori fejlődésére az alábbiak a legjellemzőbbek:

1. A fejlett technikával dolgozó kísérletezők viszonylag rövid idő alatt az anyagnak és a fizikai jelenségeknek nagyszámú és az eddig ismert sajátságoktól nagymértékben eltérő, ezeknek ellentmondó, sokszor teljes meglepésként ható tulajdonságait ismerik fel.

2. Az egyes tudományágak fogalmai és tételei egyre elvontabbakká válnak, valamint egyes fogalmak és törvények más tudományágakban is felhasználást nyernek. Így a fogalmak és törvények tartalma, illetve terjedelme rövid idő alatt olyan nagymértékű változást szenved, amelyet némelykor jogosan lehet forradalmi változásnak nevezni.

3. A természet sokrétű, de szervesen összefüggő tulajdonságainak egyre alaposabb feltárása az egyes tudományágak nagyfokú differenciálódásához vezet.

A fenti három pontban felsorolt, a természettudományra jellemző sajátságok az emberi megismerés fejlődésének következményei. Az ember mélyebbre hatol az objektív valóság megismerésében, ami szükségessé teszi a régi elméletek felülvizsgálatát, a hagyományos fogalmak új értelmezését, és a nagy mennyiségű anyag gazdagsága specializálódásra kényszerít.

A felsorolt három, egymással szoros kapcsolatban álló tényező jellemző minden természettudományra, mégis a fizikában mutatkozik a legplasztikusabban. Így az ellentmondások itt a legérettebbek, és minden bizonynyal itt oldhatók meg a leghamarabb. Tanulmányunkban kizárólag a fizikán belül felmerülő kérdésekkel foglalkozunk, bár azok legtöbbje — mutatis mutandis — más természettudományok problémáira is vonatkoztatható.

Azok a nehézségek, amelyek a felsorolt okokból erednek, egyaránt hatnak a tudományos kutatás és az oktatás területén. A fő nehézség abban áll, hogy a kutató fizikusok, de a fizikát magasabb szinten oktatók is, csak a fizika egy-egy vagy kevés számú fejezetének fejlődésével képesek lépést tartani; míg más részeknek az ismeretében elmaradnak — legalábbis a modern eredményeknek megfelelő szinttől. Az elmaradást főleg az okozza, hogy a felsorolt tényezők szerteágazó területeken és igen rövid idő alatt hatnak.

Az elmaradás a részletekben persze természetes és önmagában véve nem is káros. Károssá csak akkor válik, ha az alapvető fogalmak és törvények értelmezésében nyilvánul meg, illetve ha a fogalmak és a törvények régi tartalmához való merev ragaszkodásban jelentkezik. Mindkét tényező fellépése

komoly hibákhoz vezethet a kutatásban, oktatásban; gátat emelhet az egyén helyes világnézetének kialakítása, illetve a már kialakult dialektikus materialista világnézet rugalmassága elé.

Ismeretes, hogy a megismerés folyamatában a megfigyelésről, a kísérletről az elméleti meggondolásra és arról ismét a kísérletre, a gyakorlatra térünk át. Bár ezen hármas tagozódás között fennálló viszonyokat számos kitűnő munkában már a marxizmus klasszikusai kimerítően vizsgálták, és a felmerült kérdések a dialektikus materializmus keretén belül teljes megoldást nyertek, mégis az elmélet és gyakorlat kölcsönhatása annyira sokoldalú, hogy annak diszkussziója egy újabb oldalról mindig aktuális és további kutatásokra ösztönző.

A tudományban, különösen pedig a fizikában, kívánatosnak látszik, hogy minden ágát lehetőleg kevés számú és egyszerű kiindulási feltételből, tömören, belső ellentmondások nélkül és elegánsan fejtsük ki. Kívánatos az is, hogy ismereteink a valóságról áttekinthetők legyenek, és az absztrakció foka lemérhető legyen. Azaz ismernünk kell a használt fogalmak és törvények absztrakciójának mértékét, valamint érvényességi határukat is. A kutatás szempontjából pedig különösen ösztönző megvizsgálni, hogy kimerítettük-e az összes lehetőséget, azaz nem hagytuk-e el az elméletnek valamilyen további elképzelhető változatait.

Nyilvánvaló, hogy a felvetett problémák megoldását a fizika fejezeteinek az eddiginél fokozottabb axiomatizálásában és ugyanakkor az elméletek általános modelljeinek a megismerés és a logika szempontjai szerint céltudatos kidolgozásában kell látni. A modellalkotás fontossága annyira nyilvánvaló és oly sokat hangoztatott, hogy ezt még akkor is felesleges részletezni, ha most általános diszciplína modellek tudatos és rendszeres kiépítésére gondolunk.¹

Kevésbé elismert — vagy legalábbis ritkán hangoztatott — azonban az axiomatizálás fontossága a fizikában, bár a mechanika és különösen a termodinamika esetében éreztük annak termékenyítő hatását. Figyelembe véve az axiomatikus módszer alkalmazásának a fontosságát, továbbá azt, hogy egyesek az axiomatizálást öncélú eljárásnak tartják, szükséges rámutatni már itt arra a hiányosságra, amely akkor lép fel, ha egy tudományágban az axiomatikus módszert egyáltalán nem alkalmazzák.

Az axiomatikus módszer azt jelenti, hogy felismerve a szóban forgó tudományágban használt minden egyes fogalom meghatározásának és minden egyes tétel bizonyításának lehetetlenségét, a fogalmakat és a tételeket alapfogalmakra és alaptételekre vezetjük vissza, amelyek az objektív realitásnak valamilyen mértékű absztrakciói. Ezért abban a tudományos diszciplínában,

¹ Diszciplína modell alatt egy tudományág olyan általános elméleti modelljét értjük, amelyet a való világ bonyolult strukturális és dinamikai viszonyainak egyszerűsítésére abból a célból dolgozunk ki, hogy egy-egy jelenségsorozat törvényeit egyértelműen, kvantitatíven, érvényességi határaikkal együtt megadjuk. Ilyen diszciplína modell például a klasszikus mechanika elméleti modellje, amely a nagy nyugalmi tömegű és kis sebességű testek pusztá helyváltozással kapcsolatos állapotváltozásainak a leírását adja. Hasonlóan, a klasszikus termodinamika diszciplína modellje azon egyszerűsített viszonyok között érvényes törvények és kvantitatív kapcsolatok összességét jelenti, amelyet tömören az „egyensúlyi folyamat” paradox fogalma határoz meg. A diszciplína modellek meghatározásának módjaival és körülményeivel a továbbiakban részletesen foglalkozunk. Ügyeljünk arra, hogy valamely tudományág elméleti modelljeként értelmezett diszciplína modellt ne tévesszük össze a modell konkrét hétköznapi fogalmával, amelyről a későbbiekben ugyancsak lesz szó.

amelyben a származtatott fogalmaknak és tételeknek az alapfogalmakhoz és alaptételekhez való viszonya és érvényességi határuk nincsen (legalábbis implicit formában) tisztázva, ott komoly nehézségek állnak fenn egy tudományos igényű egységes elmélet megalkotásában.²

Ebben a tanulmányban — ha vázlatosan is — szeretnénk megmutatni az axiomatikus módszer tudatos alkalmazásának előnyeit és egy explicit próbálkozást arra vonatkozóan, hogy az axiomatikát a modellalkotással ismeretelméleti szinten összekapcsoljuk. Pontosabban, szeretnénk megmutatni, hogy a fizikai elméletek akár tudatosan, akár nem, de mindenképpen axiomatikus modellelméletek. Ez annyit jelent, hogy az absztrakciónak egy megfelelően fejlett fokán, egzakt formában az egyes diszciplína modellek tulajdonságai többé-kevésbé mindig egy axiómarendszerrel jellemezhetők. Végül reméljük, hogy az érzelmi és értelmi megismerés közötti kapcsolatra néhány ponton sikerül olyan formában rámutatni, ahogy az a materialista ismeretelméletnek megfelel, de ahogy azt ez ideig kevésbé vizsgálták. Mindenekelőtt az axiómáknak az elméletekben való szükségességét mutatjuk be, majd az axióma fogalmával kapcsolatos filozófiai problémákat vázoljuk.

1. Az axiómák szerepe az elméletben³

Formális logikai szempontból minden tudomány bizonyos fogalmak, rájuk vonatkozó ítéletek és ezekből meghatározott módszerekkel levonható következtetések rendszere. A fogalom, az ítélet és a következtetés a gondolkodás alapformái. A tudományos módszer pedig olyan általános eljárás, amely a gondolkodás alapformái között kapcsolatokat állapít meg, és a tudomány céljainak megfelelően mozgásba hozza a fogalmakat. A fogalmak mozgása a valóság mozgását tükrözi vissza. Minden tudomány — így minden természettudomány is — módszer és elmélet egysége, de nem azonossága. A módszer a gondolkodás alapformáinak rendezett menete és összefüggése mint mozgás. A valóság egy meghatározott területével foglalkozó tudomány elmélete pedig az illető terület objektív viszonyait tükröző fogalmak, ítéletek és következtetések tartalmi összefüggése.

Minden tudomány alapvető problémája, hogy az elméletét felépítő fogalmi és tételei milyen mértékben, milyen fokon igazak, vagyis mennyire jó közelítései az objektív valóságnak. Egy fejlettebb tudományágban — amely analitikus és talán szintetikus ítéletek levonására is képes — a fogalmakat formálisan definíció útján értelmezzük; a tételek, törvények formális igazolása pedig deduktív úton történik. Egy fogalom formális definíciója egyenértékű a fogalom tartalmának — tehát a fogalom lényeges ismertetőjegyeinek — és terjedelmének, azaz más fogalmakhoz való viszonyának a pontos megadásával. Tehát egy fogalom definiálása más fogalmak, egy tétel igazolása más tételek ismeretét igényli. Így ha minden fogalmat definiálni és minden tételt deduktív úton igazolni akarunk, akkor vagy egy végtelen fogalom- és tételsorozathoz

² Mint a későbbiekből nyilvánvalóvá válik, voltaképpen nem létezik egyetlen olyan tudományág sem, amely az axiomatikus módszer elemeinek legalábbis burkolt alkalmazását nélkülözné. Sőt, nem nélkülözhetik e módszert a nem tudományos nézetek olyan tárházai sem, mint a vallások különféle változatai, amelyekben Isten, Buddha stb. létezésének állítása a formális logika szerint alaptétel, „axióma”.

³ Az axiomatikus módszer szerepét a matematikában részletesen elemzi A. N. Kolmogorov, Nagy Szovjet Enciklopédia, 1. köt. 613. o. (oroszul).

jutunk, vagy visszatérünk egy már előzőleg előfordult alapelemhez, és így a circulus vitiosus hibájába esünk.⁴ A felmerült nehézség kiküszöbölése céljából minden tudományágban ki kell választani egyes fogalmakat és tételeket, amelyeket helyeseknek fogadunk el minden definíció és dedukció nélkül. Ezek a fogalmak és tételek az illető diszciplína alapfogalmai és alaptételei lesznek. Az alapfogalmakra vonatkozó alaptételek az axiómák, az alaptételek rendszere pedig a szóban forgó diszciplína axiómarendszerét alkotja.

Már Arisztotelész tudta, hogy: „Minden tudománynak bizonyításon kell alapulnia, de a közvetlen alaptételek tudása nem bizonyítható.”⁵ Azonnal felmerül azonban egy kérdés: ha az alapfogalmak és az axiómák helyessége egy adott tudományág keretén belül nem igazolható, akkor mégis milyen fokon és milyen ismérvek alapján tartjuk azokat igazaknak?

A racionalista ismeretelmélet szerint az alapfogalmak és az axiómák tudatunkban eleve adva vannak, és helyességük ismérve a közvetlen evidencia. A formális logika a matematika segítségével olyan módon igyekszik ezt a kérdést megoldani, hogy minden diszciplína axiómarendszerétől bizonyos követelmények teljesülését kívánja meg. Ezek a követelmények, amelyek a matematikai logikából ismeretesek a legtisztább formában, egy axiómarendszerre a teljesség, az ellentmondásmentesség és a függetlenség egzisztenciáját kívánják meg. Azzal a kérdéssel, hogy ezen követelményeknek egy axiómarendszerre való teljesülését miként lehet, illetve lehetséges-e egyáltalán megállapítani, most nem foglalkozunk. Megemlítjük azonban, hogy egy olyan — látszatra domináns mértékben — deduktív tudományban is, mint a matematika, a teljességre vonatkozóan csak negatív, a másik két követelményre pedig csak néhány egyszerűbb esetben tudunk pozitív választ adni.⁶ Ezek után joggal

⁴ A formális logika valamely fogalom meghatározásának három főbb módját ismeri: a genetikus, a nominális és a reális vagy tárgyi definíciót. Bár az egzakt természettudományokban mindhárom meghatározási mód elterjedt, az első kettő általában nem kielégítő, és a tárgyi meghatározást is — rendszerint a fogalmakat reprezentáló mennyiségek segítségével — szigorú kvantitatív összefüggések alakjában használják. A kvantitatív definíciók mellett ezekben a tudományokban általában csak az „elsődleges terminusok” — például „mindegyik”, „összes”, „létezik”, „nem”, „és”, „vagy”, „akkor, ha”, „csak akkor”, „akkor és csak akkor” stb. — játszanak fontosabb szerepet. Ezért az egzakt tudományokban legtöbbször jól követhető az az út, amely egy új fogalom definíciójához vezet, és ennek kapcsán a fent mondottak aránylag gyorsan igazolhatók.

⁵ *Analytica posteriora* I. könyv. 3. fejt.

⁶ Egy axiómarendszer teljességére, ellentmondásmentességére és függetlenségére vonatkozó matematikai logikai természetű vizsgálatok ismertetésével nem foglalkozhatunk. Részletes elemzésük már azért sem indokolt, mivel egy axiómarendszer helyességének nem ezek a követelmények az igazi kritériumai. Jelentőségük csak a formális logika keretein belül mozog. Megemlítjük azonban, hogy különösen az axiómarendszerek teljességére vonatkozó vizsgálatok igen bonyolultak, mivel magának a teljesség fogalmának több egymással nem egyenértékű megfogalmazása lehetséges (monomorfizmus, izomorfizmus, kategoricitás). Másrészt a három követelmény nyilvánvalóan nem azonos súllyal jön tekintetbe egy axiómarendszer formállogikai helyességének megítélésénél sem. Ugyanis egy axiómarendszer axiómáinak egymástól függő vagy független volta az axiómarendszer tartalmának értékét nyilvánvalóan nem érinti. Baj ugyanis nem származik abból, ha egy axiómarendszer egyes axiómái feleslegesek, tehát ha az formállogikailag túlhatározott. A függetlenség kérdése így, még a formális logikát tekintve is, inkább „esztétikai” probléma, melynek megoldására bár törekszünk, ámde ha egy axiómarendszer ilyen „kozmetikálása” túl sok fáradsággal jár — legalábbis kezdetben — lemondunk róla. Ez a helyzet a fizika egyes diszciplínáinak (klasszikus mechanika, termodinamika) eddig kidolgozott axiómarendszereiben. Indokolatlan tehát az axiómatikus módszertől való idegenkedés csak azért, mert kezdetben nem sikerül valamely diszciplínában *csak* független axiómákból álló rendszert megalkotni. Például Newton második

merül fel a kérdés, hogy pozitív válaszok általában lehetségesek-e, illetve van-e értelme egyáltalán az axiomatizálásnak?

A matematikai diszciplínák fejlődéstörténete alapján a felvetett problémára a dialektikus materializmus válasza a következő: Az a tény, hogy gondolkodásunk menetében bizonyos tételeket mint kiindulási pontokat axiómáknak tartunk, azoknak a tudományoknak jellemző sajátysága, amelyekben a tételek kifejtésének deduktív módszere komoly szerephez jut. Ez a helyzet a matematikában már hosszabb idő óta, és ez a tendencia megvan a nagymértékben differenciálódott és absztrakttá vált elméleti fizikában is. Az axiomatikus módszer alkalmazására tehát a fizikában is szükség van. De a matematika és még közvetlenebbül a fizika fogalmai és tételei az objektíve létező materiális világra vonatkoznak. Így a fent említett formális logikai követelmények kielégítésére — mint egy lehetséges kontrollra — bár szükség lehet, mégis a tudományok fogalmai és tételei az ismeretelmélet szempontjából csak akkor lehetnek helyesek, ha a valóságos világra vonatkoznak, azaz az objektív valóság részleteit és viszonyait bizonyos közelítésben helyesen tükrözik. Az alapfogalmaknak és az axiómáknak mint az objektív valóság visszatükröződéseinek felfogása azonban azt jelenti, hogy az axiómák a világ vizsgálatának általános eredményei, tehát nem kiindulópontok, hanem lezáró következmények. A dialektikus materializmus szerint az axiómák nem a priori eredetűek, és nem is a természetben eleve elrendelt harmóniát kifejező megállapítások, hanem az objektíve létező valóság vizsgálatának olyan termékei, amelyek logikai indukción során a gyakorlat folytonos ellenőrzése mellett jöttek létre. Az axiómák tehát a tapasztalat eredményeinek történeti és logikai általánosítása útján jöttek létre.⁷ Így tehát csak a deduktív módszerekkel dolgozó logikai gondolkodás számára kiindulópontok, és őket bizonyítani annyi, mint eredetüket kimutatni. A dialektikus materializmus módszerének tudatos alkalmazásával az axiómák eredetének gyökerei kimutathatók; azok tartalmában, terjedelmében, valamint érvényességi határaiban az idők folyamán bekövetkező változásokból pedig megállapítható, hogy egy tudományág alaptételei az indukción és a dedukción szakadatlan kölcsönhatása során, a gyakorlat állandó ellenőrzése mellett alakulnak és fejlődnek.

Egyetlen tudományos diszciplínának és így a fizika egyetlen ágának az axiómáit sem lehet dogmákként kezelni és megismerésüket intuíción vagy szubjektív felismerés eredményének tekinteni. Így az axiómák érvényességének az alapja sem az egyszerűségükből folyó közvetlen szubjektív evidencia — annál is inkább, mert a segítségükkel bebizonyítható tételek között gyakran előfordulnak olyanok, melyek „nyilvánvalóbbak”, mint maguk az axiómák —, hanem az, hogy egyeznek a valóságra vonatkozó egyéb ismereteinkkel, a gyakorlattal.

és harmadik axiómája nyilvánvalóan nem független, ez azonban értéküket nem befolyásolja, viszont lehetővé teszi az elmélet tételeinek gyors és szabatos kifejtését. A legfontosabb *formállogikai* követelmény egy axiómarendszerrel kapcsolatban az ellentmondásmentesség követelménye, amelyet egy modellelméleten belül (lásd később) be kell tartani. A későbbiekben látni fogjuk, hogy az axiómák érvényességének nem a formállogikai ellentmondásmentesség a legfőbb kritériuma, hanem az, hogy egyeznek a valóság meghatározott területére vonatkozó ismeretekkel, a kísérleti tapasztalattal és a gyakorlattal, tehát magával az objektív valósággal.

⁷ Lenin az axiómák eredetével kapcsolatban az alábbiakat jegyzi fel: „... az ember gyakorlati tevékenységének milliárd és milliárd esetben kellett az emberi tudatot a különböző logikai alakzatok ismétlésére készítenie, hogy ezeknek axióma jelentőségük lehessen”. Lenin: Filozófiai füzetek. 166. o. Szikra, 1954.

2. Kísérlet és elmélet⁸

A való világban uralkodó törvényszerűségek egy csoportjának alapelemeihez egy diszciplína axiómarendszerét rendelhetjük hozzá. Ezen törvényszerűségek és az axiómák közti viszony csak tudománytörténeti példák segítségével, a kísérlet és az elmélet kapcsolatán át érthető meg. Megvilágítható továbbá az induktív és a deduktív következtetési módoknak a tapasztalattal — az elmélettel, a gyakorlattal — és a társadalmi szükséglettel való kapcsolatán át is. Feladatunk, hogy megvizsgáljuk a történeti tények és a materialista ismeretelmélet alapján az indukció és a dedukció módszeres eljárásának a fizikai elméletek kialakításában és fejlődésében játszott szerepét, szem előtt tartva a tapasztalat, az absztrakció és a gyakorlat állandó kapcsolatát és kölcsönhatását.

A történelem folyamán többször előfordult, hogy egyes kutatók az induktív, míg mások a deduktív kutatási módszer mindenhatóságát hirdették, és így az empiria, illetve az elmélet primér szerepét hangsúlyozták. Kétségtelen, hogy a fizika történetén végigtekintve, bizonyos időszakokban a kísérletezés van túlsúlyban, míg más korszakokra domináns mértékben az elméleti fejlődés jellemző. Az elméletek fejlődése pedig egyre inkább az elvontabb és általánosabb, a deduktív módszert többet alkalmazó diszciplína-konstrukciók irányába mutat. Ezt a tényt világosan mutatja a geometria, az asztrológia, a fizika, a kémia, sőt a biológia története is. Nem lehet kétséges, hogy az a priori ismeret vagy az eleve elrendelt harmónia lehetőségének a gondolata az euklidészi geometria hosszú időn át tartó változatlanóságában és abban a körülményben gyökerezik, hogy az ahhoz vezető induktív út Euklidész előtt nehezen követhető. Másrészt az is jól ismert, hogy a modern természettudomány megalapítói: Bacon, Galilei, Newton és Faraday inkább a rendszeres kísérletezés hívei voltak. Kétségtelen azonban, hogy Euklidész axiómarendszerének felállítása előtt bizonyos megfigyelésekre éppúgy szükség volt, mint ahogy a rendszeres kísérletezés első apostolai és követői sem mentesültek teljesen az általánosságra való törekvés eszméjétől. Így nyugodtan mondhatjuk, hogy adott korban nőhet vagy csökkenhet a kísérleti, illetve az elméleti vizsgálatok számaránya, és így lényeges mértékben változhat az alkalmazott induktív, illetve deduktív kutatási módszerek relatív mennyiségi viszonya, de lényegében mindkettő minden korban létezik. Történetileg nyilvánvaló, hogy a tapasztalás és az indukció a primer, és csak elegendő empirikus ismeretanyag birtokában jelennek meg a különböző fejlettségi fokú elméletek, amelyeknek elsődleges feladata a felgyülemlett tapasztalati anyag logikus és egyetemes elvek alapján való rendezése és értelmezése. Ugyancsak nyilvánvaló és szükséges is, hogy az egzaktitás megfelelő fokán lehetővé váljék a deduktív, illetve az axiomatikus módszer alkalmazása, amely egzakt, tömör és elegáns formában teszi lehetővé egy tudományág kifejtését, majd a további fejlődés irányába mutató analitikus és, talán, szintetikus ítéletek levonását.

Az elmondottakat a matematika egyes fejezetei (különösen a geometria) axiómarendszereinek a kialakulásával kapcsolatban már sokat vizsgálták, és a részleteket illetően is igazolták. A fizikában az axiomatikus kifejtés klasz-

⁸ A kísérlet és az elmélet viszonyának a vizsgálatával a fizikában részletesen foglalkozik Max Born: „Kísérlet és elmélet a fizikában” c. könyvében (Egyetemi Nyomda, Bp., 1947.). Az eredeti mű: *Experiment and Theory in Physics* (Cambridge, University Press).

szikus és sikerült példája a termodinamika, melynek axiomatikus megalapozása szinte a szemünk előtt játszódott le, és így annak körülményei könnyen követhetők.⁹

A múlt század végén a klasszikus termodinamikát, hasonlóan a klasszikus mechanikához és elektrodinamikához, a fizikusok nagy többsége lényegében befejezettnek hitte. Volt azonban egy lényeges különbség a hőelmélet és, például, az elektromosságtan ilyen befejezettnek vélt tartalmában. Ugyanis a Maxwell-féle elektrodinamika a századfordulóig ismert elektromágneses jelenségeket szinte kivétel nélkül helyesen leírta, ugyanakkor a klasszikus hőelmélet csak egyensúlyi, úgynevezett kvázisztatikus és emiatt reverzibilis folyamatok leírására volt képes, és nem tudott számot adni az időben változó nem-sztatikus és emiatt irreverzibilis folyamatok lefolyásáról. Másrészt ismert tény, hogy a természetben ténylegesen végbemenő makroszkopikus folyamatok mindig irreverzibilisek, és így érthető, hogy az ilyen folyamatok leírását adó elmélet kidolgozása már a múlt században is sürgető volt mind a tudomány, mind pedig az alkalmazások szempontjából.

Bár a múlt század közepe óta számos kísérlet történt egy ténylegesen dinamikus karakterű hőelmélet kidolgozására, amely a termikus folyamatok időbeli lefolyásáról is számot ad és így jogosan nevezhető termodinamikának, mégis egy ilyen elmélet alapjainak a lerakása egészen az 1930-as évekig nem sikerült. (Mivel a klasszikus termodinamikában időbeli változások nem szerepelnek, így ma ezt a diszciplínát termosztatikának nevezzük.) Tekintettel a kérdésnek már a XIX. század végén is időszerű voltára, egyes fizikusok a cél sikeres elérésének a reményében „mindent elkövettek”, így nem csodálható, ha a nagy igyekezet következtében számos helytelen fogalom és elmélet született. Csak megemlítjük, hogy egyes kutatók minden alap nélkül éppúgy beszéltek entrópia áramokról, örvényekről és divergenciákról, mintha a termikus jelenségeknél is egy közönséges hidrodinamikai probléma leírásáról lett volna szó. Az ilyen kétségbeesett vizsgálatok a századfordulón az óvatosabb kutatókat fokozott éberségre intették és kényszerítették arra, hogy a klasszikus termodinamika (termosztatika) alapfogalmait és tételeit újra megvizsgálják, és a reverzibilis folyamatok modelljére épülő elmélet érvényességi területét szigorúan körvonalazzák. A hőelmélet alapfogalmainak és tételeinek átvizsgálása és érvényességi határainak megállapítása egy hosszú szűrőfolyamat során valósult meg, és végeredményben az axiomatikus „termosztatika” kiépítéséhez vezetett.¹⁰

3. Kísérlet — modell — elmélet

A fejlettség megfelelő fokán levő és axiomatizálандó diszciplína axiómarendszerének a valóság és az elmélet követelményeit egyidejűen kell kielégítenie, mégpedig úgy, hogy az elméletben csak a valóságtól elvonatkoztatott

⁹ Természetesen a fizika valamennyi ágának axiomatikus felépítésére történtek kísérletek, amelyek nem lebecsülendők. De ilyen vizsgálatokat ez ideig legkiterjedtebben a termodinamikában végeztek, ahol az alkalmazott módszer nemcsak az elmélet tiszta és egzaktt kifejtéséhez és rendszerezéséhez járult hozzá, hanem jelentős új eredményekhez is vezetett. A. Sommerfeld, „Vorlesungen über Thermodynamik und Statistik” (Wiesbaden, 1952) c. könyvének előszavában a termodinamikát az axiomatikusan megszerkesztett tudományok prototípusának nevezi.

¹⁰ Részletesebben lásd: Gyarmati István, A termodinamika „válsága” és egy új elmélet. Fizikai Szemle VI. évf. 6. sz. Budapest, 1956.

fogalmakat használjuk. Előbbi kérdésünk ismételten és konkrétabb formában a következőképpen merül fel: milyen fokú az absztrakció? Az elvonatkoztatott fogalmak milyen általánosságban és milyen mélységben tükrözik a való világ objektumainak tulajdonságait? Az axiómarendszer axiómái és a belőlük folyó tételek a való világ törvényszerűségeinek milyen mértékben hű másolatai? Tehát a megismerés első lépése — a tapasztalattól az elvont gondolkodásig — milyen mértékű absztrakciót kíván meg egy adott elméletben, továbbá az absztrakció foka milyen módon ellenőrizhető az elméletből nyert eredményeknek a konkrét gyakorlatban való alkalmazása során?

Az egyes fogalmaknak és tételeknek a megalkotása tehát azt jelenti, hogy minden tudományágban annak fejlettségi fokától függő mértékű absztrakciót kell végezni. A szóban forgó diszciplína egészére nézve azt is mondhatjuk, hogy a valóságos világ, illetve annak részei, struktúrája és dinamizmusa helyébe többé-kevésbé idealizált képeket, egyszerűbb szerkezeteket kell tenni. Az egyszerűbb struktúrák és mechanizmusok ugyanis a valóságosnál hozzáférhetőbbek a tudományos analízis számára, továbbá adott fejlettségi fokon — amelyet az adott korban a megalkotható fogalmak és tételek egzakttsága szab meg — ezek éppen a megkonstruálhatók.

Az új fogalmak és tételek megalkotásakor, éppúgy mint a már ismerteknek új tartalommal való megtöltésekor, az alapozást mindig a kísérleti oldalról kezdjük el. Ez vonatkozik azokra az esetekre is, amikor ez nem látszik közvetlen módon, mivel a kísérleti oldal elsődlegességét valamely hipotézis eltakarja. A kísérleti fizikus a kutatás gyakorlati tevékenysége során, azaz elsősorban a tudományos kísérletezés alkalmával, egyrészt bizonyítja vagy cáfolja a már korábban megállapított elméleti tételeket, másrészt kísérleti eredményei új fogalmak és tételek, azaz új elméletek forrásává válhatnak. A kísérleti kutató így egy új elmélet megalapozásában műszereivel, érzékszerveivel és értelmével lényegében ugyanazt a folyamatot végzi el, amelyet elméleti kollégája az új fogalmak absztrakciójánál és az új tételek matematikai és logikai eszközökkel való igazolásánál követ. Ha ugyanis a kísérletező az objektív törvényszerűségeket a kísérletekben gyakorlati úton, tárgyi formában, a műszerek és érzékszervei segítségével a lehető legtisztább feltételek mellett és legjellegzetesebb alakjukban igyekszik megállapítani, akkor alapjában ugyanazt a munkát végzi, mint a teoretikus a gondolkodásban. Így már a kísérletező számára is elengedhetetlen, hogy a kísérlet tárgyának egyik vagy másik oldalát minél tisztább formában, zavaró momentumoktól mentesen figyelje meg; továbbá, hogy az egész vizsgált tárgyat és a vele kapcsolatos folyamatokat is valamilyen közelítésben mint egységet tekintse. A kísérlet tehát a kívánt feltételek és körülmények minél egyértelműbb kiválasztásával a vizsgált jelenség egy vagy több lényeges vonásának zavaró hatástól mentes vizsgálatával, így gyakorlati úton készíti elő a talajt a jelenségre vonatkozó fogalmak és ítéletek megalkotása, tehát a logikai absztrakció számára.

A kutatás gyakorlati tevékenysége során felgyülemlett empirikus ismeretanyag, tehát a pusztán indukcióval nyert adatok azonban csak igen hiányos és durva jellemzői a valóságos világ bonyolult és sokrétű struktúrájának. Másrészt a pusztán adathalmazok, még ha tabellárisan rendezve is vannak, egységesen nem szemlélhetők. Ezért már a kísérletezőnek is szüksége van egy olyan képre, amely összekötő kapocs a reális világ és az általa nyert experimentális adatok, táblázatok, függvénykapcsolatok stb. között. Ez az összekötő kapocs a reális világ és az empirikus ismeretek területei között az absztrak-

cióval nyert és a tudományos elemzés szempontjából csupán a lényeges tulajdonságokat, de azokat egységesen tartalmazó idealizált anyag, test, tér, folyamat; azaz a fizikai modell.

Jól kidolgozott és széles körben felhasználásra kerülő fizikai modellek már a klasszikus fizika diszciplínáiból is nagy számban ismeretesek. Nem feladatunk ezek ismertetése, sőt felsorolása sem, mégis emlékeztetnünk kell a klasszikus mechanika anyagi pont, merev test, deformálható test, illetve az utóbbin belül a sűrűdásmentes és a sűrűdó, az inkompresszibilis és a kompresszibilis folyadékok stb. modelljeire. Hasonló modellszerűségről tanúskodik az elektrodinamika ponttöltése, a töltésrendszer dipólusa és multipólusa, továbbá, más vonatkozásban, a sztatikus, stacionárius, kvázistacionárius stb. terek folyamatmodelljei, és ilyen a hatalmas gyakorlati jelentőségű optikai modell: a geometriai optika speciális modellje. Végül említsük meg a modern területek néhány modelljét, az atom héjmodelljét, az atommag héj- és cseppmodelljét vagy a cseppfolyós hélium Landau- és Gorter-féle kétfolyadékos modelljét, amelyek nélkül az említett területeken semmiféle elméletről nem beszélhetnénk.¹¹

A helyes modellválasztás jelentőségét azok a tudománytörténeti adatok igazolják a legmeggyőzőbben, amelyek mutatják, hogy a fizika fejezetei közül azok váltak elsőnek fejletté, és fogalmaikat tekintve egzakttá, amelyek egységes, sokszor szemléletes, de mindenekelőtt egyértelmű feltételekkel meghatározható olyan modellekkel rendelkeztek, amelyek leírása kvantitatíven is véghezvihető volt. A bonyolult és sokrétű világ szukcesszív és approximatív jellegű megismerése az egyszerűbb és idealizáltabb modellek megalkotásában, majd az empiriával kompatibilis, sőt az újabb empirikus tényekre mint alapforrásokra támaszkodó bonyolultabb és a való világ viszonyait pontosabban tükröző modellek felállításában áll.

A felsorolt példákban az absztrakciót és a modellválasztásban nélkülözhetetlen egyszerűsítést (a sztatikus, stacionárius, kvázistacionárius elektromos terek kivételével) főleg a természet strukturális viszonyaival kapcsolatban említettük. A kivételek azonban mutatják, hogy az absztrakció és az egyszerűsítés, a természeti jelenségek bonyolult lefolyási menete miatt, rendkívül fontos az egyes folyamatok szemléleti és leírási módjában is. Az elmondottak alapján, egy teljes diszciplína modellt tekintve, strukturális és dinamikai (vagy folyamat) modelleket kell megkülönböztetnünk. Minthogy a strukturális modellek sajátosságai könnyebben szemlélhetők és jól ismertek, itt csak a dinamikai modellek néhány érdekes vonatkozását részletezzük.

A dinamikai modellek közül kétségtelenül az egyensúlyi rendkívül absztrakt modellje a legegyszerűbb. Ennél valamivel bonyolultabb a kvázisztatikus folyamatok modellje, amely egyensúlyi állapotokban levő rendszerek közötti virtuális vagy reverzibilis folyamatok lehetőségére mint ideális hátáresetre épít. Még bonyolultabb a stacionárius folyamatok dinamikai modellje. Ez a modell, az egyensúlyi állapothoz hasonlóan, a stacionárius rendszer állapotának időbeli állandóságára épít, bár az időbeli állandóság stacionárius esetben csak a rendszer környezetének segítségével, annak figyelembevételével és megfelelő paramétereinek a kívánalmak szerint előírt

¹¹ Az itt felsorolt modellek nyilvánvalóan diszciplína modellek, mivel rájuk egy tudományág egésze vagy legalábbis valamely szervesen összefüggő része épül.

értékeken való tartásával érhető el. Még bonyolultabb és emiatt némely esetben egyértelműen nem is definiálható folyamatmodellek a kvázistacionárius folyamatok és a turbulens jelenségek elméleti modelljei.

Ha szemlét tartunk a fizika fejezetei fölött, akkor azt látjuk, hogy a klasszikus mechanika és elektrodinamika elsősorban az anyag strukturális felépítettségére vonatkozó modellek helyes megválasztásának köszönheti gyors fejlődését és széleskörű alkalmazhatóságát. Viszont éppen a modellek sajátságai szabnak határt az elméletnek a modell keretein kívül eső, azaz még szélesebb körben való alkalmazásának. A mechanikával és az elektrodinamikával ellentétben a klasszikus termodinamika elsősorban nem strukturális, hanem dinamikai jellegű modellel rendelkező elméletnek tekinthető. Ez az elmélet a folyamatok dinamizmusának a rendkívül nagyfokú egyszerűsítését használja akkor, amikor a kvázisztatikus (reverzibilis) folyamatok egyensúlyi modelljére épít. Fenomenologikus elméletekről lévén szó, ezek kialakulása világosan mutatja azt is, hogy durva strukturális modelleket nagy számban akkor alkalmazunk, amikor a dinamikai viszonyok relatíve könnyen áttekinthetők, sőt esetleg szemlélhetők is. Ez a helyzet az egyszerűbb mozgásformák esetében is, azaz például a mechanikában. Ez azért van így, mert ilyen esetekben a szigorú belső (molekuláris) struktúra teljesen figyelmen kívül hagyható, és így egy megfelelő közelítésben helyes fenomenologikus leírás csupán a durva makrostrukturális modell kiépítését kívánja meg.

Más a helyzet a bonyolultabb mozgásformával foglalkozó termodinamikában. Ebben az elméletben a belső finom struktúra már nem hagyható teljesen figyelmen kívül. Valóban, azt még a legegyszerűbb jelenségeknél is (például párolgásnál), legalább egzisztenciálisan figyelembe kell venni ahhoz, hogy a jelenségeket fizikailag értelmezhessük. Ilyenkor a mikrostruktúra egy durva struktúrájú makromodellel már nem helyettesíthető. Ennek oka az, hogy a termodinamikai folyamatok makroszkopikus dinamizmusa, ha átlagosan és így „kisimítva” is, de döntő mértékben a belső molekuláris struktúráról és ezen mikrostruktúra időbeli változásától függ. Így megérthető, hogy a fenomenologikus termodinamika elméleteiben miért kellett elsősorban a dinamikai viszonyokat egyszerűsíteni, azaz kezdetben az elmélet kidolgozásakor miért lehetett csak a legegyszerűbb dinamikai modellre, az egyensúly modelljére elméletet építeni. A mondottak alapján az a kérdés is megválaszolható, hogy miért nehéz a termodinamikában a folyamatok tényleges dinamikáját figyelembe venni. Másrészt nyilvánvaló, hogy miért éppen a termodinamika kívánta először meg a belső finom struktúrát figyelembe vevő kinetikus és statisztikus elméletek kiépítését.

A kísérlet, modell és elmélet viszonyával kapcsolatban összefoglalásként az alábbiakat mondhatjuk. Az empirikus anyag elrendezése, kiértékelése és a valósághoz való viszonyítása strukturális és dinamikai szempontból egyaránt olyan modellek kiépítését kívánja meg, amelyekben ezek a viszonyok kvalitatíve és kvantitatíve egyaránt jól kifejezhetők. Az egyes fizikai diszciplínákban ezek sajátos problémáitól függően, strukturális és dinamikai modellek vannak. Ilyen modellekre már a kísérleti kutatónak is feltétlenül szüksége van egzakt, jól definiált, de lehetőleg egyszerű formában. Az experimentátor azonban a legtöbb esetben nem is juthat lényegesen tovább az absztrakcióban az egzakt modellnél és az ezt leíró legalapvetőbb tulajdonságok ismereténél. Az elmélet részletes kiépítése egy meghatározott modell alapján elméleti

kollégájára vár, akinek viszont experimentális ismeretei általában nem haladják meg a szóban forgó modell karakterisztikus tulajdonságaira és ezen tulajdonságok létezésének feltételeire vonatkozó adatok és kapcsolatok ismeretét. Ez a munkamegosztás a kísérleti és az elméleti fizikusok között célszerű, sőt egyre inkább szükséges is, másrészt az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján gyümölcsöző. Ismeretes a fizikai idealisták azon törekvése, hogy ezt a munkamegosztást felhasználva, az elméleti vizsgálatokat szembeállítsák a kísérleti tényekkel. Gondoljunk a Stark és Lénárd vezetése alatt Németországban elburjánzott és a kísérleti kutatás mindenhatóságát hirdető irányzat híveire, akik az elméletet mint „zsidó találmányt” elvetették, a kísérletet pedig a természetkutatás egyetlen igaz és magasrendű „árja” módszereként emlegették. Más oldalról Eddington és Milne hangzatos kijelentéseikben a kísérlet teljesen terméketlen voltát hangsúlyozták, mivel nézetük szerint a matematikában és a filozófiában (értsd idealista filozófia) jártas kutatók előtt a természettörvények minden kísérlet nélkül is nyilvánvalók. Valójában a helyzet az, hogy az elméleti fizikus a kísérleti fizikus megfigyeléseire ugyanúgy támaszkodik, mintha a kísérletet maga végezte volna el. Fordítva, a kísérleti fizikus éppúgy támaszkodik teoretikus kollégája elméleti eredményeire, mintha ezeket maga érte volna el. A támaszpont, amelyen mindkét fél ismeretei nyugszanak, az egzakt fizikai modell.

Az elmondottak a dialektikus materializmus ismeretelmélete számára azzal az eredménnyel járnak, hogy a kísérlet és az elmélet viszonyában, a kettő között lényeges helyet foglal el a fizikai modell, amely a kísérleti eredményeket összesíti, rendezi és egységes, kvantitatíve is leírható képbe foglalja. Ez az egységes kép, a fizikai modell az a váz, amelyet az experimentátor és a teoretikus közösen hoz létre abból a célból, hogy azt az utóbbi fogalmai-val és tételeivel az ismeretek megfelelő szintjén felruházva, arra a megfelelő tudományág elméletét felépítse. A megismerési folyamat első szakaszában, amely a tapasztalattól az elvont gondolkodásig, a lényegtől a mélyebben fekvő lényegig vezet, ilyen módon egy „közbülső fokot”, a fizikai modellt kell iktatni mint első és egységes lényegyet, szem előtt tartva, hogy a modell maga is az absztrakció során jön létre.

4. Modellelmélet és axiomatika

Az előzőekben láttuk, hogy egy fizikai modell a való világ strukturális és dinamikai viszonyait — döntő mértékben általában csak az egyiket — tükrözi vissza. Röviden: a komplett fizikai modell a való világ strukturális és dinamikai viszonyainak az eredetinel durvább reprezentánsa. Az 1. és 2. pontokban megbeszéltük, hogy az alapfogalmak és az alaptételek valamely axiómarendszerének megfelelő elmélet összes fogalmai és tételei csak akkor lehetnek valamilyen közelítésben is helyesek, ha a valóságból vonatkoztatjuk el őket, és így azok a valóságot tükrözik. Egy adott fejlettségi fokon álló elmélet modelljének helyes megalkotása így annak a problémának felel meg, hogy az objektív valóságból absztrahált alapfogalmak és alaptételek mikor és hogyan gyúrhatók komplex egységgé egy tudományág elméletének modellje számára. — Más szavakkal: az absztrakciónak és az egzaktságnak egy elért fokán az alapfogalmakra vonatkozó axiómarendszer milyen módon definiál és határol el egy empirikusan ellenőrizhető modellelméletet? Fordítva, egy

fizikai modellelmélet alaptulajdonságai milyen axiómarendszerrel elégíthetők ki?¹²

Valamely fizikai modellnek axiómarendszerrel való reprezentációja, azaz a szemléletességnek az egzaktsággal való szintézise, egy axiomatikus modellelmélet kiépítéséhez vezet. Ebben a szintézisben az objektív valóság egy közelítő másának sajátosságait és az ehhez igazodó elmélet alapfogalmainak és alaptételeinek követelményeit kell egyidejűen kielégíteni. Az objektív valóság és egy adott modellre szabott elmélet követelményeit egyidejűen csak úgy elégíthetjük ki helyesen, ha elméletben a valóság empirikus ismeretanyagából absztrahált olyan fogalmakat használunk csak, amelyeknek tartalma és terjedelme a leírás vázául szolgáló diszciplína modelljének pontosan megfelel. Ebben a felfogásban azt is mondhatjuk, hogy egy modellelméletet egzakte éppen a modell lényeges tulajdonságait kifejező, azt megszabó axiómarendszerrel definiálhatunk.¹³ Az ilyen definíciót rekurzívnak kell tekintenünk abban az értelemben, hogy a modell alaptulajdonságait kifejező axiómarendszer alapfogalmait és alaptételeit az axiómák segítségével egyidejűen ugyancsak definiáljuk. Természetesen, a kérdéses diszciplínát nem szakíthatjuk ki abból a fejlődési folyamatból, amelynek eredményeként az adott kornak megfelelő formában létrejött. Ha ezt tennénk, akkor tautológiához jutnánk. Tehát egy diszciplína axiomatikus modellelméletéhez hosszú fejlődés vezet, a fejlesztésben alkalmazott módszer pedig a szukcesszív approximáció. Ez a módszer tiszta és kvantitatív formában a matematikából ismert, és egyik tudatos alkalmazása például a magasabbfokú algebrai egyenletek ismeretlenjeinek közelítő, de tetszőleges pontosságú meghatározására szolgál. A megismerés folyamatában való szerepét a következőkben vizsgáljuk meg.

Egy új tudományág születésekor a kísérletező kutató és a gondolkodó emberi elme kezdetben, minden előzmény nélkül, általában csak csekély számú kísérleti adat birtokában képtelen felismerni egy bizonyos problémakör összes lényeges tényeit és összefüggéseit. Így először egy primitív modellből, egy egyszerű elméletből indul ki, amelyben még nagyon sok a szubjektív vonás és a hipotetikus elem. Ha ilyen modellképek alapján értelmezzük a megfigyeléseket, ellentmondások merülnek fel. Az ellentmondások csak úgy oldhatók fel, hogy a kiindulási alapot, az eredeti modellt, valamint az ennek tulajdonságait meghatározó alapfogalmakat és alaptételeket, azaz a diszciplína axiómarendszerét módosítjuk. Így a modell és axiómarendszere a

¹² Az axiómarendszerrel definiált diszciplína modellre épülő elméletét a továbbiakban modellelméletnek nevezzük. Természetesen modellelméletről akkor is beszélhetünk, ha az elmélet alapjait képező tudományág modellje axiomatikusan nincs rögzítve. Ez a helyzet a kevésbé egzakt tudományokban, például a biológiában, bár ez a tudomány is kétségtelenül határozott elméleti modellel — sőt többel is — rendelkezik. A biológia elméleti modelljei azonban manapság inkább csak kvalitatíve definiáltak. Így, bár beszélhetünk biológiai modellelméletekről, ezek nem kvantitatívek; és emiatt sajnos, általában nem is egyértelműek. Ezért lényegesen különböznek a kvantitatív módon axiomatizálható tudományok modellelméleteitől.

¹³ Érdemes megemlíteni, hogy egyes matematikai tudományágakban a rendkívül nagyfokú absztrakció miatt a modell szerepe háttérbe szorul, esetleg látszatra el is tűnik. Ez a helyzet például a valós számok elméletében, amelyben az elmélet axiómarendszere úgy tekinthető, mint a valós számok rendszerének közvetlen definíciója. Hasonlóan: a csoportelmélet axiómarendszere nem más, mint a csoport fogalmának közvetlen definíciója, közbülső modell nélkül. Ezen matematikai diszciplínák ilyen kivételes helyzete a matematika sajátos jellegéből és abból a körülményből adódik, hogy a matematika kapcsolata a reális világgal sokkal közvetettebb, mint a fizikáé.

tapasztalattal való sorozatos összevetés által állandóan javul és fejlődik. Tökéletesedik ezzel a modell és az axiómarendszerére épülő elmélet is. Az axiomaticus modellelmélet alapján világosan látható, hogy egy axiomaticus rendszer megalkotása semmi esetre sem jelenti a tudományos kutatás végét. Bármennyire helyes ugyanis egy axiómarendszer, és bármennyire kifogástalan is logikailag, szigorúan sohasem a való világra, hanem annak csak egy többé-kevésbé közelítő tükörképére — a modellre vonatkozik. Egy axiómarendszer tehát ismeretelméletileg nemcsak azért nem lehet kifogástalan, mert pusztán formállogikailag sem lehet az, hanem elsősorban azért nem, mert egy-egy approximációs sor konvergencia-határaként előálló axiómarendszerrel meghatározott modellelmélet törvényei a valóságos világ objektív törvényszerűségeinek csak többé-kevésbé hű tükörképei. Így nyilvánvaló az axiómák relatív jellege is, mivel azok az ismeretek történelmi fejlődésének minden lépcsőfokán kifejezik azt a határt, amelyet az ismereteinket egységesen és általánosan reprezentáló modellelméletek az objektív valóság leírásának közelítése során elértek.

5. Elmélet — modell — gyakorlat

A 3. pontban arra az eredményre jutottunk, hogy a megismerésnek a tapasztalattól az elvont gondolkodáshoz vezető folyamatában a tapasztalat és az elmélet közé mintegy „közbulső lépcsőfokként”, első és egységesen szemlélhető lényegként a modellt kell helyezni. A modell az absztrakció folyamatában olyan összekötő kapocs, amelyet a tapasztalat segítségével a kísérletező és az elméleti kutató közösen hoz létre, s amely alapra az utóbbi az alaptételek rendszerének megállapítása után a teljes elméletet felépíti. Szemléletesen azt mondhatjuk, hogy az elméleti kutató a modell alapján áll, és onnan felfelé, az egyre elvontabb elméleti konstrukciók részletei felé irányítja a figyelmét, esetleg magának a modellnek a tökéletesítésén fáradozik. A kísérletező számára viszont legtöbbször az elméleti modell jól definiált vázának ismerete már elegendő és kielégítő is ahhoz, hogy a kísérleti adatokat értelmezze és rendszerbe foglalja, másrészt az elmélet fejlődését egzakt módon kövesse, anélkül, hogy annak részleteivel foglalkoznék.¹⁴

Amikor egy elvont tudományág fogalmai és törvényei alapján valamilyen folyamatot megfelelő berendezésekkel tudatosan akarunk előidézni, akkor az elméletet alkalmazzuk a gyakorlatban. Az elmélet fogalmainak és tételei-

¹⁴ A vázoltak alapján fontos következtetések vonhatók le a fizika oktatásával kapcsolatban is. Az alsóbbfokú oktatásnak ugyanis mindig olyannak kell lennie, hogy induktív úton eljusson a megfelelő diszciplínák egységes elméleti modelljeinek kifejtéséig, azok lényegének és összefüggéseinek lehető legtisztább vázolásáig. Így a felsőbbfokú oktatás szilárd alapokra támaszkodhat, amelyeknek esetleges további bővítésével hozzáláthat, kezdetben persze csak induktív úton, a modellre épülő elmélet teljes kifejtéséhez. Sajnos, a gyakorlatban sokszor előfordul, hogy az egyetemi hallgatók nem jutnak el kísérleti fizikai tanulmányaik során valamely tudományág elméleti modelljének tisztá megértéséhez. Így, például, aki kísérleti fizikai stúdiumok alatt nem tudja élesen megkülönböztetni a geometriai optika és a hullámoptika elméleti modellje közötti különbséget, annak azt elméleti tanulmányai során a hullámegyenlet megoldásaival már legtöbbször hasztalan magyarázzuk. Ilyen és hasonló példákkal sajnos sűrűn találkozunk, azért érdemes az egyes kísérleti tárgyak oktatónak felülvizsgálniuk előadásuk anyagát és előadási módszerüket abból a célból, hogy sikerült-e a hallgatókba, a megfelelő diszciplínák kísérleti anyagának és alaptörvényeinek oktatása során, a tudományág elméleti modelljének egységes vázát a követelményeknek megfelelő fokon beoltani.

nek gyakorlati alkalmazása nem egyetlen lépésben megy végbe, hanem az absztrakciós folyamathoz hasonlóan több fokozatban. Ezen fokozatok közül az egyik, a leglényegesebb: ismét a modell.

Egy modellelméletnek a gyakorlati kívánalmaknak megfelelő valamely technikai alkalmazását általában ellenőrző kísérletek egész sora előzi meg. Ezeknek a kísérleteknek az a céljuk, hogy lehetőleg minél több ponton igazolják valamely modellelmélet axiómarendszeréből a matematikai dedukció módszereivel lezámaztatott következtetések helyességét. Mivel az elmélet elvont fogalmai az axiómarendszer érvényességét biztosító és egyszerűsítő feltételeket tartalmazó diszciplína-modellre vonatkoznak, a kísérleti ellenőrzés feltételeinek is mindenkor meg kell egyezniük az alkalmazott elmélet diszciplína-modelljének érvényességét biztosító feltételekkel. Más szavakkal: az elmélet általános modellje csak jól meghatározott kísérleti feltételek esetén ad helyesen számot valamely közelítésben az objektív valóságról, az ennek törvényszerűségeit visszatükröző törvények és következtetések alapján. Ezért a kísérleteknek is a diszciplína-modellt kielégítő feltételek között kell megvalósulniuk. Nem lehetséges például, a merev testek általános modellelméletének alkalmazása közben az elméletből még közelítő következtetéseket sem levonni és ezek alapján mesterséges berendezéseket létrehozni akkor, ha az alkalmazott anyagok, legalábbis a kívánt közelítésben nem teljesítik azokat a feltételeket, amelyeket a klasszikus mechanika általános törvényeinek érvényességi tartománya, illetve a merev test modelljének definiált feltételei együttesen megkívánnak. Némileg nehezebben felismerhető viszonyokkal állunk szemben akkor, ha a klasszikus hőelmélet fogalmait és tételeit kívánjuk felhasználni relatíve kicsiny méretű rendszerek termodinamikai sajátosságainak a leírására. Ilyenkor jelentős intenzitású ingadozások lépnek fel a rendszerben. Hasonló a helyzet akkor is, ha ezt az elméletet olyan rendszerek tanulmányozására, illetve konstrukciók kivitelezésére kívánjuk felhasználni, amelyekben irreverzibilis transzport folyamatok mennek végbe. A példák felsorolását — különösen mikrofizikai vonatkozásban — vég nélkül lehetne folytatni. A mi szempontunkból lényeges most csak az, hogy egy modellelmélet törvényeinek és tételeinek alkalmazásakor az ellenőrző kísérletek során éppúgy, mint a megvalósult és működő technikai konstrukciókban, már a tervezés, a szerkesztés és a kivitelezés során a megfelelő tudományág (vagy tudományágak)¹⁵ diszciplína-modelljét meghatározó feltételeket, az azt jellemző törvényeket és a belőlük folyó következtetéseket mintegy „preformálnunk” kell a berendezésbe, még ennek működése előtt. Talán azt is mondhatjuk, hogy a tervezés, a szerkesztés és a kivitelezés folyamata közben „tárgyasítjuk” azt a diszciplína-modellt, amelynek törvényei, tételei és az érvényességi határukat megadó feltételek keretei között a kísérlet a várt eredményre vezet, illetve a technikai berendezés működik. Amennyiben valamely berendezésben nem öltött testet vagy nem megfelelően

¹⁵ Természetesen egy-egy technikai berendezés rendszerint több tudományág modellelméleteinek törvényei szerint működik. Egy gőzgép tervezésénél és kivitelezésénél például elsősorban a klasszikus mechanika merev testekre vonatkozó modellelméletét, valamint a klasszikus hőelméletnek a reverzibilis folyamatokra érvényes modellelméletét kell figyelembe venni. Egy úrhajó működtetéséhez ugyanakkor a különböző tudományágak egész sorának ismerete szükséges. Tehát egy kozmikus „kísérlet” egyidejűleg több tudományág helyességéről is, sőt azok megfelelő diszciplína modelljeinek egyidejű és mintegy kölcsönhatásban levő érvényességéről is számot ad.

„tárgyasult” a berendezés működéséhez szükséges elmélet vagy elméletek absztrakt modellje, akkor a berendezés nem működik. Egy tudományág általános elméleti modellje tehát ismét ott van az elmélet és a gyakorlat között, benne van a tervezés, a szerkesztés és a kivitelezés folyamatában, és végül testet ölt a funkcionáló berendezésben a struktúra és működés sajátos szintézisében.

Amikor a gyakorlatról olyan értelemben beszélünk, hogy valamilyen elmélet fogalmait és törvényeit adott körülmények között megvalósítja, akkor olyan konstrukciót hozunk létre, amely az általánost az egyesben valósítja meg. Ez természetesen azzal a következménnyel jár, hogy a berendezés struktúrája és működése az elméleti modellnek (legtöbbször többnek) csak egy specifikus részét (vagy részeit) realizálja, tehát nem magát a teljes diszciplína-modellt (vagy ilyen teljes modellek összességét). Más szavakkal azt mondhatnánk, hogy egy tudományág teljes elméleti vázát képező absztrakt diszciplína-modell a gyakorlatban csak specifikus részmodellekben konkretizálódik.¹⁶

Ez megfelel a fordított folyamatban — a tapasztalatból az absztrakció során át az elmélet felé vezető úton — annak a szintetikus eljárásnak, amikor az elvonatkoztatás során a valóság különböző — rendszerint szomszédos — területeiről származó kísérleti tényeket logikailag egybefűzzük, általánosítjuk, és több ilyen általánosítás eredményét a tudományágra jellemző sajátos szintézisben összekapcsolva, több lépésben megalkotjuk az elméleti modellt.¹⁷

Összefoglalva: a megismerés fejlődése, az elméletek tökéletesedése a tapasztalatnak, a kísérletnek és az elvont gondolkodásnak szakadatlan kölcsönhatását tételezi fel. Igyekeztünk megmutatni, hogy a kísérlet és a mindennapi gyakorlat sem más, mint az értelem absztrakciós tevékenységének és az érzéki ténykedésnek egy sajátos egybekapcsolása, amely esetenként az elvont elméleti, illetve a konkrét, már „tárgyasult”, gyakorlati modellen vagy kész berendezésben valósul meg. Az elméleti modell a kísérletezés és alkalmazás során felhasznált minden műszerben és minden berendezésben oly módon „tárgyasult”, hogy közben az elmélet axiomarendszere, törvényeinek és tételeinek ismeretrendszere és így az egész elmélet a gyakorlatban tárgyi alakot ölt.

6. Konstruktív axiomatika¹⁸

Az eddigiekben megbeszéltük, hogy egy kvantitatív modellelmélet bázisaként a modellt definiáló és egyidejűleg az alapfogalmakat és alaptételeket is meghatározó axiómarendszer szolgál. Az nyilvánvaló, hogy sem a modell

¹⁶ Egy elmélet általános modelljének „tárgyasulása” az alkalmazások során, és felváltódása apróbb részmodellekre különösen nyilvánvaló olyan esetekben, amikor a tervező mérnök egy berendezés végleges kivitelezése előtt konkrét részmodelleket, maketteket stb. készít. Ebben a vonatkozásban például a hidro- és az aerodinamika közismert hasonlósági elméleteinek létezése konkrétan bizonyítja és szemlélteti a modell közbülső szerepét az elmélettől a gyakorlat felé vezető úton. A makett azonban mindig csak részmodell lehet, de sohasem testesítheti meg az egész diszciplína-modellt.

¹⁷ Természetesen különbségek is vannak a modell szerepét illetően a tapasztalattól az elmélet felé, illetve a fordított irányba vezető úton. Ezek azonban nem általánosak és esetenkénti részletes elemzést igényelnek, amivel most nem foglalkozunk.

¹⁸ A közönséges axiomatikus módszert, amely általában híven követi a kérdéses tudományág fogalmainak és tételeinek történelmi kialakulását, a diszciplína fejlődési fázisait, tehát a megismerés induktív útját, genetikus axiomatikus módszernek szokás nevezni. Eddig ezzel az axiomatikus módszerrel foglalkoztunk.

sajátságai, sem pedig a matematikai logika követelményei még nem határozzák meg egyértelműen az axiómák rendszerének kiválasztását. Így annak a kérdésnek megoldásában, hogy egy axiomatikus modellelmélet kiépítésében mely tételeket tekintsünk axiómáknak, bizonyos szabadsággal rendelkezünk. Ez annál is inkább így van, mivel döntő jelentőségük csak a fizikai igazságok rendszereinek van, függetlenül ezen rendszerek belső hierarchiájától. Tehát annak a kérdésnek csak másodrendű és főleg esztétikai szerepe van, hogy meghatározott igazságok rendszerén belül az igazságok közül melyeket és milyen sorrendben kell mint legalapvetőbbeket egy axiómarendszer alapelemeinek tekinteni azért, hogy belőlük az összes többi igaz tételt dedukáljuk. Tehát egy axiomatikus modellelmélet kiépítésénél valóban némi szabadsággal rendelkezünk az axiómák kiválasztását és csoportosítását illetően. Ez a szabadság módot nyújt arra, hogy valamely diszciplína axiomatikus kifejtésénél a lehető legnagyobb egyszerűsége és tömörsége törekedjünk azon túlmenően, amit a genetikus axiomatikus módszer sajátosságai ebben a vonatkozásban már eleve, önmaguktól fogva biztosítanak. Ez a további egyszerűsítés messzemenő logikai és formális vonatkozású (számítástechnikai) kérdésekkel kapcsolatos, és végeredményben egyre nagyobb mértékben segíti a hatalmas matematikai apparátussal dolgozó elméleti kutatót.

A logikai és a számítástechnikai egyszerűségekre való törekvés az axiomatikus módszer közönséges alkalmazásán messze túlmenően annak egy speciális válfajához vezet, amelyet konstruktív axiomatikának nevezhetünk. Hogy a konstruktív axiomatizálás eredetét, lényegét és bizonyos körülmények között célravezető voltát megértjük, kísérjük figyelemmel a közönséges axiomatikus módszer (genetikus axiomatika) sajátosságaival kapcsolatos alábbi megjegyzéseket.

Mint láttuk, az axiómák egyáltalán nem azért fogadhatók el helyeseknek, mert igaz voltuk az egyszerűségük miatt „evidens”, mégis a helyes axiómák egyik jellemző és általános sajátossága a tartalmi és a formai egyszerűség. (Éppen mert alaptételek, és így az alapfogalmak közötti leglényegesebb és legáltalánosabb kapcsolatokat fejezik ki, és sokszor még igen közvetlen kapcsolatban vannak azokkal a kísérleti vizsgálatokkal, amelyekből absztrakció útján általánosítottuk őket.) Ebből következik, hogy egy axiomatikus modellelmélet genetikus axiómái nem lehetnek tartalmilag bonyolult kijelentések és nem fogalmazhatók meg nehézkes matematikai kifejezések, például differenciálegyenletek, variációs elvek stb. formájában. Ugyanakkor a modern fizika elméletei mutatják, hogy a logikai egyszerűsítés lényegesen fokozható az egyre absztraktabb és átfogóbb matematikai apparátus használatával. Ennek igazolására tekintsük az alábbi példát. Az elektromos és a mágneses térerősség három-három komponense, a relativitás elmélete szerint úgy transzformálódik, mint egy antiszimmetrikus tenzor. Ismeretes, hogy a legegyszerűbb ilyen tenzort egy vektornak a rotációja szolgáltatja. A relativitás elméletében kimutatják, hogy az elektromágneses térerősség a négyes potenciálnak a rotációja. Ez a logikailag rendkívül egyszerű kijelentés, amely a felsőbb matematika igen absztrakt fejezetének, a tenzoranalízisnek a segítségével tehető meg, magában foglalja az indukció egész jellegkörét, összesíti Faraday évtizedes kutatómunkájának eredményeit, sőt kiegészíti azzal, hogy különálló mágneses pólus nincs. Logikailag ennél jobban leegyszerűsíteni és áthatni, tömörebben összefoglalni egy jelenségekört a matematika segítségével szinte nem is lehet.

Az említett példán kívül az elméleti fizika szinte minden fejezete azt mutatja, hogy a logikai egyszerűsítés lényegesen fokozható az absztrakt és összefoglaló sajátosságú matematikai apparátusnak, tehát formális és kvantitatív elemeknek a fokozott használatával. A vázolt kérdések tehát sajátosságos kvantitatív keretek között a formális vonatkozások fokozott kihasználásának előnyeire utalnak, amely előnyök egy diszciplína tételeinek gyors, konstruktív úton való reprodukálását teszik lehetővé, esetleg új tudományágak kialakításához járulnak hozzá.

Egy harmadik szempont ugyancsak a konstruktív eljárások előnyeire, sőt számos esetben kimondottan szükséges voltára utal. Ugyanis a való világ bonyolultsága következtében csak az egyes fizikai diszciplínák axiómarendszereiről beszélhetünk (pontosabban: beszélhetnénk, ha azok az ismeretek mai szintjén egységesen és részletesen ki lennének dolgozva), nem pedig a teljes fizika axiómarendszeréről. A teljes fizika a mai ismeretek fokán a maga egészében semmi esetre sem axiomatizálható, azaz nem vezethető le valamilyen végleges modellre szabott axiómarendszerből.¹⁹ Ez következik a fizikai világ sokrétű, bonyolult struktúrájából és dinamizmusából, valamint a viszonyokat tükröző modellek differenciáltságából és ma még igen tökéletlen voltából. Nem szabad azonban lemondanunk arról, hogy a különböző modellek sajátosságait és egymáshoz való viszonyait a lehető legtisztább és kvantitatív formában tanulmányozzuk. Ez a feladat ugyancsak a logikai és a számítástechnikai viszonyok tudatos egységesítését kívánja meg, és így a konstruktív axiomatikához mint hasznos segédeszközhöz vezet. Az alábbiakban ennek a módszernek a szerepét, előnyeit és hátrányait igen röviden, néhány példán keresztül vázoljuk.

Egy egzaktt tudományágban az elméleti kutatók, a fentebb vázolt okoknál fogva, munkájuk megkönnyítésére szívesen fogadnak minden olyan módszert, amely a modern fizika egyre differenciáltabb és számítástechnikailag egyre bonyolultabbá váló kérdéseit egyszerűsíti és egyúttal a logikai egyszerűsítésre való törekvést is nagymértékben szolgálja. Matematikailag két ilyen hasznos kutatási módszert ismerünk, a variációs számítást és a már említett tenzorkalkulust, amelyek mindegyike páratlan összefoglaló sajátosságú eljárás. Így például egy tökéletesen számoló elméleti fizikus egy-egy diszciplína minden részletét segédeszközök felhasználása nélkül is könnyen tudja reprodukálni, ha egyetlen kifejezést emlékezetében tartott: a kérdéses diszciplína Lagrange-függvényét. Ekkor ugyanis a szóban forgó diszciplína mozgásegyenletei a Lagrange-függvényre vonatkozó variációs elv Euler-féle differenciálegyenleteiként adódnak. Ezen eljárás segítségével a kérdéses diszciplína részletei tehát teljes finomsággal megkonstruálhatók és az alapegyenletek levezethetők. Így mind logikailag, mind a világról vagy egyes részeiről való egységes kép kialakítása céljából az ilyen konstruktív eljárás nagyon fontos és kívánatos.

¹⁹ Hasonló a helyzet a matematikában is. A. N. Kolmogorov erről, a már idézett helyen a következőket írja: „Csak az egyes matematikai elméletek axiómarendszereiről beszélhetünk, nem pedig az egyetlen egésznek vett egész matematika axiómarendszeréről. A matematika a maga egészében nem axiomatizálható, azaz nem vezethető le valamilyen végleges axiómarendszerből. Ennek döntő oka, hogy a reális világ tárgyait és tulajdonságait mind mélyebben tanulmányozzuk.” Mivel ez a megállapítás a fizikára is érvényes, sőt, mivel itt a világ végtelen bonyolultsága sokkal közvetlenebbül mutatkozik meg, mint a matematikában, teljességgel elképzelhetetlen, hogy valaha is az egész fizika egységes axiómarendszeréről beszélhessünk. Ilyen feltételezés egyébként ellentmondana a megismerés szukcesszív és approximatív lenni elvének.

Ahhoz azonban, hogy a konstruktív axiomatika módszerét az őt megillető helyre állítsuk, meg kell mutatnunk, hogy a variációszámításnak és a tenzorkalkulusnak mi az igazi helye a megismerés történeti fejlődése, az ismeretek gyarapodása során. Nyugodtan mondhatjuk, hogy mindkét eljárás hosszú következtetési lánc végén áll, és teljes biztonsággal csak olyan diszciplínában alkalmazható, amelynek alapfogalmai és alaptételei már ismertek és kvantitatíve meghatározottak. Ezeknek az eljárásoknak tehát kevés közülük van azoknak a fogalmaknak és tételeknek a kialakulásához, amelyekre vonatkoztatottak akkor, ha segítségükkel a szóban forgó diszciplínát deduktív úton rekonstruálni kívánjuk. Ez a megállapítás egyenértékű azzal, hogy bár konstruktív módszerek esetleg új eredmények eléréséhez is hozzájárulhatnak, azok értéke ebben a vonatkozásban meglehetősen csekély, főleg ha figyelembe vesszük azt a kellően fel nem becsülhető veszélyt, amely a formális oldal megengedhetetlen túlhajszolásából ered. Figyelembe véve a materialista ismeretelmélet követelményeit, a vázolt konstruktív módszerek ismeretelméleti vonatkozásban is könnyen félreérthetők, mivel lényegüknél fogva nem utalhatnak történelmi származásuk induktív gyökereire. Más vonatkozásban ezt a nézetet támogatja az a tény, hogy az esetek jelentős részében a kérdéses diszciplína Lagrange-függvényének közvetlenül belátható fizikai jelentése sincs, nem is beszélve annak matematikailag általában igen bonyolult voltáról. Az első esetre példa lehet az elektromágneses tér Lagrange-függvénye, amely az elektromos és a mágneses energia-sűrűségek különbségeként szerkesztendő meg, jóllehet azok összegének lenne kézzelfogható fizikai értelme.²⁰ A másik esetre példaként a Heisenberg új „világ-formulájának” megfelelő igen bonyolult Lagrange-függvényre hivatkozunk. Egyébként Heisenberg új elmélete a lehető legplasztikusabb formában magán viseli mindazokat az előnyöket és hiányosságokat, amelyek a konstruktív kutatási módszerből erednek. Heisenberg „világ-formulájával” kapcsolatban még további megjegyzéseket kell tennünk, mivel — tapasztalatunk szerint — már maga az elnevezés is félreértésre adott okot. Jól ismert, hogy Heisenberg új elmélete egy nem lineáris kvantum-tér-elmélet, amelyet szerzője az elemi részecskék sajátosságainak, kölcsönhatásainak, keletkezésüknek és eltűnésüknek leírására, valamint értelmezésére dolgozott ki. Tételezzük fel, hogy ez az elmélet vagy valamely későbbi változata az elemi részecskék világának törvényszerűségeit helyesen és kimerítően tükrözi (jelenleg, sajnos, ez a feltételezés még nem jogosult), akkor sem helyes az elmélet alapegyenletét még idézőjelben sem „világ-formulának” nevezni. Ne értsük félre: az elnevezés ellen nem azért tiltakozunk, mintha nem lenne mindegy, hogy milyen elnevezést adunk egy matematikai formulának, ha annak tartalma mindazok számára világos, akik arról valamilyen kijelentést (főleg filozófiai) tesznek. Így például nem kifogásolható az antirészecske elnevezés, mert az elnevezéshez fűződő elemi részek objektivitása még laikusok számára is azonnal megérthető. Heisenberg új formulájával más a helyzet. Képzett elméleti fizikusoktól és filozófusoktól is hallani lehetett már olyan kijelentéseket, hogy az elemi részecskék törvényszerűségeit leíró helyes elmélet megalkotása, tehát egy tökéletes „világ-formula” felírása után a fizika feladata csupán apróbb, az eddig elmaradt részletproblémák megoldása és kidolgozása

²⁰ Meg kell jegyezni, hogy az elektromágneses jelenségeket egyidejűleg leíró elektromos és mágneses térerősségvektoroknak két olyan kombinációja van, amelyek Lorentz-invariánsak. A Maxwell-egyenletek linearitása miatt azonban csak azok négyzeteinek különbségét tartalmazó kombináció jöhet számításba.

lesz, mivel az elemi részek milliárdjaiból felépülő makroszkopikus anyag törvényeinek egy tökéletes „világ-formulából” következniük kell. Az ilyen felfogás ellen nemcsak a világ sokrétűsége és kimeríthetetlensége alapján kell ellenvetéseket tenni, hanem az ellentmondásosság elvének alapján is, mert egyetlen egyetlen formulával az objektív valóság összes törvényszerűségeit akár csak valamilyen helytálló közelítésben is átfogni. Ez következik abból, amit a fizika genetikus axiómarendszerével kapcsolatban már mondtunk, hogy az egész fizika elméleti modellje — nyilvánvaló ellentmondást tartalmazó axiómák nélkül — nem adható meg, azaz a fizika egésze nem axiomatizálható. A konstruktív axiomatikus módszert illetően ez azt jelenti, hogy egyetlen variációs elvből soha nem származtatható olyan „világ-formula”, amelyből, bármilyen közelítésben is — a végső tökéletesség esetéről nem is beszélve — a fizikai világ különböző mozgásformáit tanulmányozó diszciplínák összes alapegyenletei következzenek.

Az elmondottak megvilágítására a pusztá helyváltoztatással kapcsolatos mechanikai mozgásformának a termodinamikai mozgásformához való viszonyára hivatkozunk. Ha a klasszikus mechanika törvényeit és a klasszikus reverzibilis termodinamika főtételeit mint kerettörvényeket tekintjük, az utóbbiak az előbbiekből nem következnek. A klasszikus mechanika és termodinamika egységes és közös axiómarendszere tehát nem adható meg. Ezért ezen két diszciplína esetében már nem teljesíthető az az egyébként kíváncsú egyszerűsítés — amelyet a racionalisták és a világ belső harmóniájában hívők mindig a priori adott ténynek vesznek —, hogy az axiómák minimumával az élménytartalmak maximumát fogjuk át. A racionalisták — továbbá a Spinoza által felvetett pszichofizikai paralelizmus hívei éppúgy, mint Leibniz „harmonia praestabilita”-jának hirdetői és tudatos vagy ösztönös követői — nem veszik észre, vagy nem is akarják észrevenni, hogy a különböző diszciplínák szintetizálásának feltételeit, számos esetben, az objektív világ ellentmondásossága és sokoldalúsága miatt nem lehet megadni. Más szavakkal: bár helyes az a törekvés, hogy minél tágabb területre vonatkozó ismereteket minél kevesebb számú axiómával vagy akár egyetlen variációs elvvel foglaljuk össze, az ilyen irányú törekvések nem feltétlenül vezetnek eredményre, és az esetleg bekövetkező kudarcot nem az emberi elme gyengeségének, hanem a természet objektív ellentmondásosságának kell tulajdonítani. Minden korban tehát csak addig lehet két vagy több diszciplína axiomatikus modellelméleteinek egybefoglalásáról beszélni, azaz az axiómák bizonyos optimális minimumával az élménytartalmak minél nagyobb területeit átfogni és leírni, ameddig azt az elméleti modellek feltételei az ismeretek színvonalának megfelelően lehetővé teszik. Természetesen, különböző tudományágak szintézisének az objektív feltételei különböző korokban különbözők. Egyes korokban ilyen szintézis lehetséges, más, rendszerint alacsonyabbrendű elméletek esetében szintézisről szó sem lehet. Sőt az is megtörténhet, és meg is történt például a kémia és a fizika viszonyában, hogy az ősi természettudomány fejlődése során a differenciálódás szakaszában különváló fizika és kémia napjainkban, az atom- és molekulafizikában ismét szintetizálódott, mivel a kémiai struktúrák, kölcsönhatások és folyamatok a kvantumelmélet égisze alá besorolhatók. Az atomburok- és a molekulafizika alapfogalmai, tételei, elvei és axiómái tehát érvényesek a kémia területén is. Ezért e területeken a fejlődés abban az értelemben is eredményre vezetett, hogy sikerült a kvantumelmélet törvényeivel a kémia egész területét leírni és áthatni.

Más a helyzet a már említett klasszikus mechanika és klasszikus termodinamika viszonyában, ahol az alaptörvények és az alapegyenletek annyira eltérő sajátosságúak, hogy az elméletek modelljeinek szintézisére gondolni sem lehet. Sőt, ha egy ideig abban a reményben ringathattuk is magunkat, hogy egy ilyen szintézis valaha lehetséges lesz, napjainkban e remények is szertefoszlottak. A modern irreverzibilis termodinamika egészének konstruktív axiomatikája Onsager lineáris törvényein, az e törvényekben szereplő együttthatók mátrixának szimmetriáján, végső fokon pedig a legkisebb energiadiSSIPáció vagy entrópiaprodukció variációs elvének érvényességén nyugszik. Ebből a variációs elvből az irreverzibilis termodinamika alapegyenletei, és így az egész elmélet is levezethető, reprodukálható. Másrészt tudjuk, hogy a mechanika mozgásegyenletei a Newtontól, a Hamiltontól vagy akár a Lagrangetól származó formában is mindig szigorúan reverzibilis tulajdonságúaknak bizonyultak. Hasonló a helyzet a Schrödinger- és a Dirac-egyenletekkel, amelyek az idő jelváltásával szemben mindenkor invariánsak maradnak, azaz reverzibilis jellegűek. Az újabb és részletesebb mikrofizikai vizsgálatok egyértelműen azt mutatják, hogy a mikrofizika világában a reverzibilitás alapvető sajátosság. Az irreverzibilis termodinamika viszont a makrofolyamatok mindenkori irreverzibilitását hirdeti, és azokat a legkisebb entrópiaprodukció variációs elvéből lezármaztatható egyenletekkel írja le. Anélkül, hogy az egyedi mikrofolyamatok reverzibilitását, a makrofolyamatok irreverzibilitását a mikrorészecskék halmazaira vonatkozó statisztikus törvényszerűségekkal és ebben a vonatkozásban a determinizmus és az indeterminizmus kérdésének vizsgálatával elemeznénk, megállapíthatjuk, hogy a mechanikát és a termodinamikát átfogó egységes axiómarendszer létrehozásának lehetősége előtt (az eredetileg is fennálló) szakadék nemhogy csökkent, hanem egyre mélyült. Nyugodtan mondhatjuk, bármilyenek legyenek is a mikrofizika újabb törvényei, az új „világ-formulák” (amíg reverzibilis jellegűek), belőlük az irreverzibilis makrofolyamatok törvényeit (beleértve az ugyancsak irreverzibilis biológiai alaptörvényeket is) sohasem lehet levezetni. Így nyilvánvaló, hogy egyetlen „világ-formuláról” nem lehet beszélni, legfeljebb a különböző minőségű mozgásformáknak megfelelő, ezek törvényeit kifejező „világ-formulák” sokaságáról lehet szó, amelyek egyike-másika azonban a valóságos világnak csak igen csekély részéről ad többé-kevésbé helyes leírást. Ezek után nyilvánvaló, különösen ha Bohm és de Broglie után a fizikai jelenségeket az úgynevezett makroszkopikus, kvantummechanikai és szubkvantummechanikai szintek szerint csoportosítjuk, hogy a szubkvantummechanikai szintek világának bármely tökéletes leírását nyújtó elmélet alapegyenlete csak akkor nevezhető „világ-formulának”, ha az elemi részecskék egyébként csodálatos világát a magasabb dimenziók nem kevésbé bámulatra méltó és az ember számára legalább annyira fontos világával szemben, szubjektív érzések alapján kitüntetjük. Ilyen kitüntetésre azonban semmi objektív alap nincs.

Amit a fentiekben Heisenberg új formulájának kapcsán, de ettől tulajdonképpen függetlenül és ennek minden fizikai és filozófiai értékelése nélkül mondtunk, az kissé enyhébb és más formában, de ugyancsak elgondolkasztató módon Einstein egységes térelméletével kapcsolatban is felvethető.²¹ Kétség-

²¹ Ezzel a kérdéssel részletesen, az itt követett módszertől eltérő gondolatmenet alapján foglalkozik Elek Tibor: „Albert Einstein ismeretelméleti koncepciójáról és a relativitáselmélet filozófiai tartalmáról” c. kandidátusi értekezésében. Budapest 1961.

telen, hogy Einstein számára elviselhetetlen volt az a gondolat, hogy a gravitációs és az elektromágneses mezők között, amelyek számos hasonlóságot mutatnak egymással, más vonatkozásban olyan minőségi különbségek mutatkoznak, amelyek miatt a fizikában két különálló kontinuummal kell foglalkozni. Ezért Einstein a mindennapos kísérletezésektől távol álló legabsztraktabb régiókban, a konstruktív axiomatika talaján állva és abból a törekvésből kiindulva, hogy az axiómák minimumával az élménytartalmak maximumát fogjuk át, az egységes térelmélet létezését posztulálta és kidolgozását élete végéig sürgette. Mind Einstein, mind pedig mások e téren végzett vizsgálatai kizárólag matematikai természetűek, konstruktív jellegűek, és nélkülözik a genetikus axiomatikus módszerre jellemző sajátságokat. Így, a közel harminc éves sikertelen kísérlet fényében különösen, de egyébként is, nem látjuk semmi biztosítékát annak, hogy az egységes térelmélet egzisztenciáját biztosító feltételek az induktív úton megalkotott gravitációs és elektromágneses mezők genetikus axiomatikus modellelméletéből következzenek. Ezért a gravitációs és elektromágneses tér egységes elméletének kidolgozására irányuló eddigi próbálkozásokat olyan öletszerű kísérleteknek lehet csak tekinteni, mint például egy differenciálegyenlet valamely hipotetikus formulával való kielégítését anélkül, hogy a megoldások egzisztenciájának feltételeit és teljesülését igazoltuk volna. Természetesen, ha valamely próbafüggvény egy differenciálegyenletet kielégít, és így legalábbis egy partikuláris megoldást megkaptunk, továbbá ha az a kívánalmaknak megfelel, akkor — legalábbis a fizikus számára — szükségtelen a megoldások létezési feltételeinek részletes tanulmányozása. Ebben az analógiában az egységes térelmélettel kapcsolatban azt kell mondanunk, hogy annak intuitív úton konstruált „próbafüggvényei” nem vezettek eredményre, és így az egységes térelmélet egzisztenciájának feltételeit meg kell vizsgálni. Ezeknek a vizsgálatoknak célja csak az lehet, hogy segítségükkel eldöntsük: Einstein koncepciója megfelel-e a való világ egységének ezen a területen, vagy a gravitációs és az elektromágneses jelenségek olyan különböző minőségek, amelyeknek objektív ellentmondásai nem biztosítják egy egységes térelmélet jogosultságát. Ahhoz, hogy ilyen egzisztenciális vizsgálatokat végezhesünk, mindennekelőtt ki kell dolgozni a gravitációs és az elektromágneses mezők elméleteinek önmagukon belül ellentmondásmentes genetikus axiómarendszereit, amelyek ez ideig — legalábbis egységes, áttekinthető és ilyen súlyos probléma vizsgálatára alkalmas formában — nincsenek megadva. Csakis ilyen vizsgálatok után, ezek eredményeinek ismeretében dönthetünk Einstein térelméleti koncepciójának helyes vagy helytelen volta mellett.²² A pozitív válasz Einstein többször csodált intuíciónak dicséri, a negatív eredmény pedig azt jelenti, hogy a gravitációs és az elektromágneses

²² Az a genetikus axiomatikus módszerrel végzett egzakt vizsgálatok nélkül is megállapítható, hogy a gravitációs mező genetikus axiómarendszere feltétlenül szegényesebb, mint az elektromágneses mezőé. Ezért bár nem lehet feltételként kiróni, hogy a két mezőelmélet genetikus axiómarendszereinek önmagukban azonos számú és szerkezetű axiómákat kell tartalmazniuk ahhoz, hogy egy egységes mezőelmélet axiómarendszereinek egzisztenciája biztosítva legyen, mégis a jelenlegi genetikus axiómarendszerek közötti különbségek, melyek az eddig ismert fizikai tényekből erednek, nagyon súlyosak. Kétségtelenül nagy lépést jelentene az egységes mezőelmélet egzisztenciális problémáinak pozitív megoldása felé a gravitációs hullámok kísérleti igazolása. Az egységes mezőelmélettel kapcsolatos fizikai és geometriai kérdések igen eredeti módon összefoglalva megtalálhatók: Horváth János „Fizikai terek klasszikus elmélete és a tér geometriai szerkezete” c. cikkében. Fizikai Szemle, X. 2. 1960.

jelenségek megfellebezhetetlenül különböző minőségek, közöttük az egységet és harmóniát csak Einstein „racionalizmusa észlelte”. A mi szempontunkból e problémával is csak azt kívántuk érzékeltetni, hogy az induktív megismerés útját hűen követő genetikus módszer mindenkor megbízhatóbb a kizárólag matematikai módszerekkel operáló konstruktív módszerekkel szemben. Egy axiomatikus modellelmélet finomítása során csak újabb és induktív úton nyert ismeretekkel vihető be az elméletekbe teljes biztonsággal az új objektív ismeret. Ezért bár a konstruktív axiomatika módszereivel, azaz a tiszta matematikai eljárások segítségével való merész szárnyalás az egyre elvontabb területek felé hasznos és ugyanakkor gyönyörködtetőbb, mint az induktív úton haladó genetikus kutatás, az utóbbi biztosabb, a valóság talaján szilárdabban álló módszer. Ezért mindenkor a kettő helyes kombinációja, tehát az induktív és a deduktív kutatási módszer sajátos egysége biztosítja csak ismereteink szakadatlan fejlődése során az egyre jobb és átfogóbb modellelméletek kidolgozását.

Az alábbiakban pontokba foglaljuk azokat a főbb eredményeket, melyek az axiomatikus módszer tudatos alkalmazásával járhatnak.

1. Minden tudományos diszciplína előadását és elsajátítását megkönnyíti az egzakt fizikai modellekre építő tárgyalásmód és az axiomatizálással járó szabotosság.

2. Bármely axiomatikus modellelmélet érvényességi határa sokkal könnyebben áttekinthető az axiomatikus módszer tudatos alkalmazása esetén, mint különben.

3. Az axiomatikus modellelmélet tudatos alkalmazása nyújt egyedül lehetőséget arra, hogy egy diszciplína két különböző fejlettségi fokon levő modelljének tulajdonságait egzakt, kvantitatív eszközökkel és egységes szempontok szerint összehasonlítsuk, és ezáltal az elért fejlődés mértékét pontosan lemérjük.

4. A mindenkori modellnek és az azt meghatározó axiómarendszeren nyugvó elmélet fogyatékoságainak tudatosítása a modell javítására, az axiómarendszer módosítására, esetleg bővítésére, de mindenképpen az elmélet továbbfejlesztésére ösztönöz.

5. Egy axiomatikus modellelmélet alaptulajdonságait megszabó axiómarendszer induktív megismerés eredménye, és így közvetlen kapcsolatban van a valósággal.

6. Egy axiomatikus modellelmélet annyiban helyes, amennyiben a való világ viszonyait tükrözi. Ez a megállapítás első és közvetlen módon az alarendszerre vonatkozik, viszont amilyen mértékben erre fennáll, automatikusan és ugyanolyan mértékben teljesül az alarendszerből dedukálható összes további tételre mint következményre is.

7. A megismerés folyamatában a tapasztalatától az elmélet felé vezető úton éppúgy, mint az elmélettől a gyakorlat felé haladva, jelentős közbülső lépcsőfokot képvisel a modell. A modell nyújt lehetőséget egyrészt a kísérleti kutatónak, másrészt a mérnöknek arra, hogy az elméleti kutatóval megértsek egymást. Végül a modell biztosítja azt a szilárd alapot, amelyre a teoretikusnak feltétlenül szüksége van ahhoz, hogy reális tudományos elméleteket állítson fel.

8. Egy fizikai modellelméletnek az axiomatikus pontosságig elmélyített ismerete a helyes dialektikus materialista világnézet kialakításához jelentősen hozzásegít.

Bár az axiomatikus modellelméletek tudatos kiépítése a fizika különböző területein elsősorban *módszertani* probléma, de olyan, amely egyre inkább nélkülözhetetlen a nagymértékben differenciálódott és absztrakttá vált fizikai diszciplínákban.

РОЛЬ АКСИОМ И МОДЕЛЕЙ В ФИЗИЧЕСКОМ ПОЗНАНИИ

Иштван Дьармати и Янош Шандор

Главные итоги при намеренном применении аксиоматического метода могут быть сведены к следующим:

1. Метод дискуссии, основанный на точных физических моделях, и четкость при аксиоматизации облегчают изложение и усвоение всех научных дисциплин.

2. Предел действительности какой-то аксиоматической модельной теории рассматривается легче, при намеренном применении аксиоматического метода.

3. Только намеренное применение аксиоматической модельной теории дает возможность сравнивать свойства двух моделей в разных стадиях развития одной дисциплины точными количественными средствами и по эквивалентным точкам зрения и так точно измерять степень достигнутого развития.

4. Осознание недостатков всегдашней модели и теории, основанной на аксиоматической системе, определяющей модель, побуждает к улучшению модели, к изменению аксиомной системы, может быть, к ей расширению, но во всяких случаях к дальнейшему развитию теории.

5. Аксиомная система, определяющая основные свойства аксиоматической модельной теории является результатом индуктивного познания и непосредственно связана с действительностью.

6. Аксиоматическая модельная система настолько правильна, постолько она отражает отношения реального мира. Это установление относится первично и непосредственно к основной системе, но по какой мере оно верно в этом отношении, автоматически и по такой же мере оно правильно и для всех других тезисов, выведенных из основной системы, как ее следствий.

7. В процессе познания по пути от опыта к теории, как от теории к практике модель представляет собой значительную среднюю ступень. Модель дает возможность так ученому исследователю, как инженеру объясняться с теоретиком. Наконец, модель обеспечивает устойчивую основу, необходимую теоретику, чтобы выдвигать научные теории.

8. Знание физической модельной теории, углубленное до аксиоматической точности значительно помогает в выработке правильного диалектического, материалистического мировоззрения.

Хотя намеренная выработка аксиоматических модельных теорий в разных областях физики является прежде всего методической проблемой, она все еще станет необходимой в физических дисциплинах, становящихся в большой мере дифференцированными и абстрактными.

THE ROLE OF AXIOMS AND MODELS IN PHYSICAL COGNITION

I. Gyarmati and J. Sándor

The most important results, brought about by the conscious application of the axiomatic method, are summed up in the following points.

1. The explanation and mastering of any scientific discipline can be made easier by a treatment, built upon the application of exact physical models, and by the accuracy, brought about by axiomatization.

2. The limits of the validity of any axiomatic model theory are much easier to survey in case of a conscious application of the axiomatic method, than otherwise.

3. It is only the conscious application of the axiomatic theory of models that allows to compare the properties of two models of a discipline, which are on different

stages of development, by means of exact, quantitative methods and from uniform points of view, and thus, to measure the standard of development with a great exactness.

4. The realization of the deficiencies of the existing model and of the theory, based upon the system of axioms by which the model is determined, stimulates to improve the model, to modify, or possibly, to amplify the system of axioms, but in any case, to develop the theory.

5. The system of axioms, determining the fundamental properties of an axiomatical model theory, is the result of inductive cognition, and thus, closely connected with reality.

6. An axiomatical model theory is correct so far as it reflects the relations of the real world. This statement bears relation firstly and directly to the fundamental system, but, inasmuch as it is valid for this fundamental system, it is effective automatically, and to the same extent for all the further theses that can be deduced from this system as its consequence.

7. In the process of cognition, the model serves as an important intermediate stage both on the way from experience to theory and from theory to practice. It is the model that allows, on the one hand the experimental research-worker, and on the other, the engineer, to come to an understanding with the theoretical research-worker. Finally, it is the model that provides the firm basis, necessary for the theoretician to set up real scientific theories.

8. The knowledge of a physical model theory, brought to axiomatical exactness, makes a considerable contribution to the formation of the right dialectical ideology.

Though the conscious development of axiomatical model theories in the different fields of physics is in the first place a problem of methodology, it is more and more indispensable in the physical disciplines having been differentiated and become abstract to a great extent,