Analógia a természetben — analogikus következtetés a természettudományban

BÓNA ERVIN

„Nagyon szeretem ugyanis az analógiákat, e leghívebb tanítómestereimet, mivel ezek a természet minden titkába be vannak avatva."
(Kepler)

Bevezetés

Az analógiák és a rajtuk alapuló következtetések, a köznapi és a didaktikai használaton túl komoly szerepet töltenek be a tudományos megismerésben is.

A dolgokban, jelenségekben levő *konkrét* (objektív) *azonosságok* adják meg a *világ anyagi egységének* valóságos belső tartalmát. Ezek az azonosságok rendkívül sokfélék, miként maga a világ is végtelenül sokféle meghatározottságú. Vannak azonosságok, amelyek minden létező közös azonosságai. E legátfogóbb azonosságokat a filozófia tárja fel a megismerő tudat számára. A legpontosabb feltárást a dialektikus materialista filozófia nyújtja. Ennek iránymutatása alapján ismeretes, hogy a létezők legáltalánosabb azonosságai: az anyagiság, a mozgás, a tér- és az időbeli létezés, a minden létező lényegét adó belső ellentmondásosság, a mennyiségi és a minőségi meghatározottság, a környezettel való szoros összekapcsoltság, s a dolgoknak az a meghatározottságuk, hogy adott pillanatnyi létük csak egy láncszem a szakadatlan fejlődési folyamatban.

A dolgok, jelenségek, törvényszerűségek közti *analógia alapját* a bennük levő *konkrét azonosságok* adják. A dialektikusan értelmezett azonosság konkrét volta annak viszonylagosságát jelenti, s így magában foglalja azt a követelményt is, hogy mindig *az azonosság és a különbözőség* dialektikus egységeként nyilvánul meg.

A világ az azonosság és a különbözőség (nem-azonosság) bonyolult egysége. A világ anyagi egysége korántsem csupán a dolgokban és a jelenségekben meglevő azonosságokra utal, hanem ugyanígy a köztük levő különbözőségekre is, hiszen *az azonosság és a különbözőség feltételezik egymást.* Miként az azonosság, a különbözőség is végtelen sokoldalúságában nyilvánul meg. Ahol felszínes szemléletre csak különbözőségeket látunk, ott a felszín alatt gyakran speciális azonosságok hosszú sora jelenik meg. De ez fordítva is érvényes: a felszíni azonosságok mögött a „mélyben" a különbözőségek tarka és sokoldalú lehetőségei és valóságai rejtőznek. Ez egyrészt arra utal, hogy a természet dolgait és jelenségeit át- meg átszövi a konkrét azonosságok, s így az analógiák sokasága, másrészt pedig arra, hogy vigyáznunk kell az ezekből levonható következtetésekre, mert ahol az azonosság különbözőségbe „megy át", ott a következtetéssel az igazság megragadása helyett, esetleg a tévedés útvesztőjébe juthatunk.

Az analógia voltaképpen hasonlóság, s így az analogikus következtetés valóban hasonlóságon alapuló következtetés. Gyakran azonban mind az analógia, mind az analogikus következtetés fogalmi meghatározásában nem a hasonlóság, hanem az azonosság fogalmáig megyünk vissza. Ennek lét-

jogosultságát több tényező indokolja. Az alapot elsődlegesen az adja, hogy *az azonosság* a valószínűségi jellegű *analógiafogalom határeseteként* fogható fel. Az azonosság-fogalom a filozófiában meglehetősen jól definiált, az analógia- (ill. hasonlóság-) fogalom definiáltsága jóval kevésbé egzakt, noha a materialista jellegű meghatározás egyre sikeresebben tartja távol a szubjektív elemeket. Feltétlenül tisztában kell lennünk azzal, hogy a hasonlóság általános fogalma nem azonosítható a geometriai hasonlóságfogalommal. Ez utóbbi definíciószerűen adott egyértelmű jelekből áll, amelyek az összehasonlított geometriai objektumoknál vagy fennállnak egyidejűen, vagy sem, s így azok vagy, hasonlóak, vagy sem. A szigorúan logikai geometriai hasonlóságfogalom nem tartalmazza a mérték fogalmát, míg az általánosan (fizikai, biológiai stb. rendszerekben) értelmezett hasonlóságfogalomban fontos meghatározó szerepet tölt be *a mérték fogalma.*

A hasonlóság (ill. az analógia) fogalmának (általános értelemben vett) meghatározását a különböző tudományterületek (fizika, csillagászat, geológia, biológia, geográfia stb.) régóta igénylik. Különösen erőteljes ez az igény korunk néhány modern tudománya, elsősorban a kibernetika, s ennek néhány rokontudománya (pl. a bionika) részéről. Ez utóbbiak egyik-másik problémája (pl. a kibernetika alakfelismerésre alapozott logikai automatáinak konstruálása) csak az egzakt módon értelmezett hasonlóságfogalom alapulvételével oldható meg. E plauzibilis jellegű hasonlóságfogalom meghatározásában különösen fontos szerepe van a mérték fogalmának, amelynek segítségével a legkülönfélébb analógiaproblémák egzakt matematikai feldolgozás, s így elektromechanikus modellálhatóság alapjaivá, mintegy „nyersanyagaivá" válhatnak.

Az objektív világ tárgyai, dolgai *a jegyek végtelen halmazát* tartalmazzák, amelyeknek egy része lényeges, más része pedig lényegtelen, s ezek az összehasonlítandó tárgyakban, dolgokban *csak részben fedik egymást,* és a „fedés" mértéke is igen különböző lehet. Tehát a mérték minimálisan mint az egyedi jegyek hasonlóságának mértéke, a lényegesség és a lényegtelenség mértéke, valamint a meghatározott fokig lényegesnek vett egyedi jegybeli hasonlóságok (határesetként: azonosságok) számosságának mértéke jelentkezik az analogikus kapcsolatokban.

Miként a konkrét azonosságok, ugyanúgy *az analógiák is objektíve léteznek.* A valóság visszatükröződik az emberi tudatban. Így az emberi gondolkodás képes a dolgokban, jelenségekben levő azonosságok és analógiák megragadására. Az emberi gondolkodás alapformáiban — a köznapi és tudományos fogalmakban és ítéletekben —, továbbá az ezekre épülő következtetésekben és bizonyításokban sajátos módon jelennek meg *az objektív analógiák szubjektív vetületei.* Alapvetően minden analógia objektív. (Az ún. formális analógiákban az objektivitás áttételesen tükröződik.) Más kérdés, hogy milyen mértékben van róluk tudomásunk. Az emberi tudatban történő szubjektivizálódásuk nem objektív voltuk tagadását jelenti, hanem a megismerés fontos eszközeként lép előtérbe. Az „analógiába állítás" kifejezés erősen szubjektív hangzású, nem szabad azonban elfelejtkeznünk arról, hogy csak az olyan „analógiába állítás" tudományos értékű, amely mögött objektivitás húzódik. Ugyanez vonatkozik arra az esetre is, ha az „analógiába állítás" mint feltételezés jelentkezik. Axiomatikus tárgyalásnál — a lenini visszatükrözési elvvel összhangban — feltételezhetjük, hogy az objektív világ tárgyai, dolgai, jelenségei a központi idegrendszerben mint a tulajdonságok, jegyek halmaza tükröződnek, s így két vagy több objektum *általánosított értelemben akkor*

hasonlít egymáshoz, ha lényeges tulajdonságaik, jegyeik halmazainak van közös része. A hasonlósági megállapítást egyre egzaktabb formában igénylő modern tudomány számára az egyszerű kvalitatív megállapítás mellett egyre inkább szükségszerű *a hasonlóság mértékének a megadása* is. Erre a valószínűség fogalmát használó, s a valószínűségszámítás egyre több elemét és kutatási módszerét igénybe vevő matematikai alapokon nyugvó filozófiai és szaktudományi feldolgozás mindinkább alkalmasnak is bizonyul.

Már a gondolkodás legalapvetőbb formája, *a köznapi fogalom* is magában hordja az egyes és az általános, a konkrét és az absztrakt, az azonos és a különböző belső ellentmondásait, az objektív analógia (bizonyos határok között mértékfogalommal is megadható) alapvető mozzanatait, s ebből következően, az analógia szubjektív megfelelője már itt is megtalálható.

Még kifejlettebb formában találkozunk az analógiákkal *az ítéletekben.* Már a köznapi fogalmakban is ott lappang az azonosságok felismerése és az analógiák feltárása, de ez az egyes, majd az egymás mellé állított ítéletekben egyre nagyobb mérvű lesz.

Az ítéletek meghatározott kapcsolatai a fogalmak fejlődéséhez vezetnek, s létrehozzák a különböző szinten vett *tudományos fogalmakat.* Ezek egyre egzaktabb formában tükrözik a konkrét azonosságokat és a dolgok és a jelenségek közötti objektív analógiákat.

Az analógiák és az analógiába állítások a gondolkodás alapformáin túl jellegzetes módon tükröződnek a megismerés jóformán minden mozzanatában: a következtetésekben, bizonyításokban, hipotézisekben, elméletekben, tudományos diszciplinákban, sőt a gyakorlati jellegű mozzanatok révén, egészen „az anyagi erővé válás" dialektikus követelményéig.

A következtetésekben az analógiák figyelembevétele jellegzetes megjelenési formát ölt: *az analogikus következtetés* megjelenési formáját. *A dolgokban, jelenségekben és törvényszerűségekben levő konkrét azonosságokból, illetve a bennük levő analógiákból levont következtetéseket nevezzük analogikus következtetéseknek.*

Analógia és analogikus következtetés tehát *két különböző dolog.* Az előbbi a világ anyagi egysége sajátos megjelenési formája, a dolgokban levő konkrét azonosságok és hasonlóságok kifejezésének megtestesítője, a dolgok és a jelenségek meghatározott viszonyait tükröző fogalom, az utóbbi pedig éppen a dolgokban levő konkrét azonosságokra és analogikus kapcsolatokra támaszkodó gondolkodási (logikai) művelet.

Ha két dolog vagy jelenség meghatározott vonatkozásban azonos vagy (esetleg kvantitatíve is kifejezhető) *hasonló tulajdonságokat mutat, akkor ez a tény lehetőséget ad e dolgok vagy jelenségek analógiába állítására. Így módunk van feltételezni, hogy az egyik tárgyban meglevő olyan tulajdonság, amely bizonyos kapcsolatban van az egyező, ill. hasonló közös tulajdonságokkal, a másik dolognak vagy jelenségnek is tulajdonsága.*

Az analogikus következtetés helye a tudományos megismerésben

Az objektív analógiákon alapuló analógiába állítások és következtetések a *tudományos megismerés fontos eszközei.* Fontos szerepet töltenek be a tudományos megismerés fejlődésében. Mégis gyakran tapasztalható komoly ellen-

szenv e következtetésekkel szemben. Bár az előítéletek és fenntartások érthető okokra vezethetők vissza, mégis súlyos hibát követnénk el, ha a megismerésben tagadnánk vagy háttérbe szorítanánk az analogikus módszert.

Az előítéletek nagyrészt abból származnak, hogy a tudományok története igen sok hamis analogikus következtetést tud felmutatni. Ez nagyrészt arra vezethető vissza, hogy az analogikus módszer éppen a megismerés kezdeti időszakának domináló megismerési eljárása, amelytől gyakran egymagában kívántak sikert. Továbbá: ez a módszer, logikai és matematikai egzaktság tekintetében jelentősen elmarad más megismerési módszerek, következtetési eljárások mögött. De ugyanilyen ellenvetés tehető — ha nem is ilyen mértékben — a nem teljes induktív következtetéssel szemben is, amiként erre még napjainkban is van példa. Igaz, hogy a nem teljes induktív következtetéseknél nagyobb a tévedés veszélye, mint a deduktív következtetéseknél, pl. a szillogizmusok alkalmazásánál, de ennek ellenében nem szabad elfelejtkeznünk arról sem, hogy a szillogizmus zárótételének meglehetősen egzakt bizonyosságát azon az áron érjük el, hogy az nem ad új, a premisszák terjedelmén túlmenő felismerést, viszont a nem teljes induktív következtetés újat ad, utat mutat új felismerések irányában. Az analogikus következtetések jellege még inkább valószínűségi, mint a nem teljes induktivaké, de a „kockázat" ellenében az új ismereteknek, tudományos felfedezéseknek, sőt tudományos előrelátásoknak még az utóbbiakénál is bővebb forrásaivá válhatnak.

Természetesen merev, metafizikus követelmény, hogy az analogikus következtetési eljárás a megismerés logikai funkcióit minden igényt kielégítően *egymagában* töltse be, de ezt a követelményt más módszerekkel szemben sem állíthatjuk fel. *A megismerési folyamat összességéből való mindennemű kiszakítás szükségszerűen egyoldalúságot von maga után.* A kiszakítás mint elvonatkoztatás gyümölcsöző lehet valamely módszer alaposabb megismerése s a vele szemben támasztható igény számbavétele szempontjából, de az absztrahálás abszolutizálása súlyos tévedések forrásává válhat.

Mindezek figyelembevételével és a tudományos tapasztalattal egybehangzóan megállapíthatjuk, hogy az analogikus következtetés, mint a megismerési folyamat *egyik láncszeme*, rendkívül fontos logikai eljárás, és szerepét mindig a megismerés *teljes fejlődési menetében* kell végig követnünk. Ez nemcsak azt jelenti, hogy *más következtetési eljárásokkal együtt kell vizsgálnunk*, hanem annak vizsgálatát is megköveteli, hogy *miként jelenik meg az analogikus következtetés csírája* a köznapi és tudományos fogalmakban és ítéletekben, hogyan lesznek ezekből analogikus következtetések, s ez utóbbiak milyen részt vállalnak *a tudományos hipotézisek, axiómák, elméletek és rendszerek kialakulásában és fejlődésében.* De jelenti ez egyben annak figyelembevételét is, hogy *maga az analogikus következtetés is fejlődik*, s a vele szemben támasztott igények is egyre növekednek, s mivel a következtetés alapját adó analógiafunkció a felszíni tényezőktől az egyre lényegibb, a csak minőségileg kifejezhetőktől egyre inkább a mennyiségileg is leírható tényezők irányában tolódik el, így az analogikus következtetés is *mind egzaktabbá válik.*

Az analógiák és az analogikus következtetések segítségével *nemcsak megérthetjük és megismerhetjük a jelenségeket és a törvényszerűségeket*, hanem megismerve, cselekvő céljaink érdekébe is állíthatjuk, *a világ megváltoztatásának eszközeiként is felhasználhatjuk* őket. Mi magunk is teremthetünk mesterséges analógiákat ugyanazon törvényszerűségek alapján, amelyek a természetben is részt vesznek analogikus kapcsolatok fennállásában. Természetes, hogy az

objektivitás kritériuma, sajátos módon ugyan, de a mesterséges analógiákra is vonatkozik.

Az analógia — s így az analogikus következtetés is — sokkal általánosabb jellegű, mint ahogyan, gyakran, értelmezni szokták. Minél távolabbra megyünk vissza a tudományos megismerés történetébe, annál felszínesebb analógiákkal és analogikus következtetésekkel találkozunk. A felszínesség fő oka az analógiát szolgáltató jegyek kevéssé lényeges, többnyire nagyon is külsőleges, s így formális volta. E téren sem lehet elégszer hangsúlyozni a dialektikus materialista filozófia szerepét, amely filozófia elsőnek mutatott rá tudományos megalapozottsággal arra, hogy a dolgokban s a jelenségekben — az első tekintetre könnyen szembeszökő, de gyakran meglehetősen felszínes azonosságokon és analógiákon kívül — sokoldalú általános azonosságok és analógiák húzódnak meg, amelyek sokszor csak közvetve jelentkeznek, de a dolgok s jelenségek lényegét érintik. Bár banalitásnak tűnhet, de ismételten hangsúlyozni kell, hogy az analógiákban a világ dialektikusan értelmezett anyagi egysége tükröződik. A dialektikus értelmezés magában foglalja az egységgel együtt a végtelen változatosságot, s ennek tükörképeként az analógiákkal kapcsolatban az azonosságok mellett a különbözőségeket is.

Az analógiák általános jellegére utal az is, hogy a dolgok s a jelenségek osztályozása s, felsőbb fokon, a rendszerezésük a bennük levő lényeges azonosságok és analógiák alapján történik. E tény nemcsak az analógiák, hanem egyben az analogikus következtetések fontos szerepét is hangsúlyozza az osztályozásban és a rendszerezésben.

Az általános jelleget a gyakorlat oldaláról támasztja alá a modellezés egyre fokozódó elterjedése. De alaposabb elemzés arra is rámutat, hogy, ugyanígy, alapjában véve, mindennemű kísérletezés, kisebb vagy nagyobb mértékben, ugyancsak az analogikus következtetés gyakorlati oldalával áll szoros kapcsolatban.

A fentiek egyben utalnak arra is, hogy az analógia és az analogikus következtetés nemcsak az elmélet ügye, hanem legalább annyira a gyakorlaté is, amely részben, a kísérlet, még inkább a különböző típusú modellálás alakját ölti, s belenyúlik a műszaki és egyéb alkalmazott tudományok, sőt az ipar közvetlen alkalmazási területeibe is. A gyakorlattal való szoros kapcsolat a leghívebben éppen a modellezésben tükröződik. A fejlődés itt is abban az irányban halad, hogy egyre több olyan modellt készítünk, amely nem egyszerűen valamilyen meglevő analogikus kapcsolatot tükröz, hanem *mesterségesen létesített* (mondhatnánk így is: előre megtervezett) *analogikus kapcsolatra utal*, a gyakorlat sajátos módszereivel. Ennek jó példáival találkozhatunk a modern tudományok közül a farmakopszichológiában, a kibernetikában és a bionikában.

Az analógián alapuló modell fontos ismeretelméleti funkciója, hogy *közbeeső lánc* az elméleti absztrakt gondolkodás és az objektív gyakorlati tevékenység között. A hatás kétirányú. A *valóság oldaláról kiindulva* a modell a tapasztalatból születő új elmélet alkotó részeként lép fel, s e vonatkozásban értelmezi a tényeket abban az értelemben, hogy többé-kevésbé szemléletes módon reprodukálja a megfigyelt jelenség struktúráját és lefolyásának mechanizmusát. Egyúttal segíti felépíteni az elmélet matematikai apparátusát analóg jelenségek alapul vételével. A másik irányt tekintve a modell *az elmélettől a valóság felé vezető úton* jelenik meg és lehetővé teszi bebizonyítani valamely axiomatikus elmélet által leírt objektumok létezésének lehetőségét, s feltárja az elmélet fizikai értelmét.

Amiként az analógia és az analogikus következtetés két különböző dolog ugyanígy nem keverhető össze *az analógiák mozgása és az analogikus következtetések mozgása*. Az előbbi elsősorban a világ objektív mozgását tükrözi; azt fejezi ki, hogy *analogikus kapcsolat keletkezhet, megszűnhet, változhat*, s minden dolog sokféle más dologgal lehet a legkülönfélébb analogikus kapcsolatban. Kétségtelen, hogy az analógiába állításnak van ezen kívül szubjektív oldala is. Az analogikus következtetés mozgása egyrészt azt jelenti, hogy e következtetés mint a megismerési folyamat *egyik láncszeme* tekintendő, s így szerepét mindig a megismerés teljes fejlődési menetében kell végigkövetnünk, másrészt pedig azt jelenti, hogy *maga az analogikus következtetés is fejlődik*, s a vele szemben támasztott igények egyre növekednek, s e következtetési módszer mind újabb megjelenési formát mutat.

Fogarasi Béla írja *Logika* c. könyvében: „Az analogikus következtetés . . . a tudományos kutatás *egy bizonyos szakaszában* (kiemelés: B. E.) tölti be funkcióját. A továbbiak során az analógia helyébe a megfigyelés, a kísérlet — és amennyiben ez lehetséges — a matematikai számítás egzakt módszerei lépnek." (Fogarasi: Logika. 4. kiadás. Bp. 1958. 299. o.)

Ez valóban így van, szükséges azonban e mondatokat néhány megjegyzéssel kiegészíteni. Bizonyos megfigyelések és kísérletek *mindig megelőzik* az analógiába állítás közvetlen mozzanatát, míg *további megfigyelések, kísérletek és önkísérletek pedig kétségtelenül követik azt*. Viszont a modern analogikus következtetés egyik legfőbb jellemzője éppen az, hogy a megfigyelések, kísérletek, mérések, önkísérletek, sőt matematikai műveletek és matematikai-logikai eljárások alkalmazása *a legközvetlenebb tartozéka* magának a közvetlen analógiába állításnak, analogikus következtetésnek. Gondoljunk pl. az ún. modellkísérletekre, legyenek technológiai, kibernetikai, bionikai, neurofiziológiai, farmakopszichológiai vagy egyéb természetűek egyaránt. Tévedés ne essék! E megjegyzéseket ne a logikai és a gyakorlati mozzanatok összezavarására irányuló tendenciaként értékeljük, hanem éppen *a logikai és a gyakorlati mozzanatok egysége, szoros egybetartozósága, feltételezettsége* kinyilvánításaként.

Az analógiákban (és így az analogikus következtetésekben) *a mozgásformák sokfélesége és egymással való kapcsolata* is tükröződik. Az analógiák és a rájuk épülő modellek *tartalmi osztályozása* éppen ezen alapszik. *A mozgás elsődlegesen mint mechanikai mozgás jelenik meg*, s mint ilyen nem képvisel önálló mozgásformát, „. . . mint teljesen sajátos mozgásforma nincs összefüggésben az anyag egy meghatározott fajtájával, minden anyagfajtához hozzátartozik és minden más mozgásforma külső mozzanatát képezi." (M. I. Rutkevics: Dialektikus materializmus. 113. o.) Tehát a mechanikai mozgásbeli azonosság sokféle más mozgásformán belül jelen van, s így analogikus kapcsolat áll fenn sokszor távolálló mozgásformát mutató dolgok, jelenségek s ezek törvényszerűségei között. E mechanikai analógiák adják meg az alapját a mechanikai modellek alkalmazhatóságának a megismerés folyamatában.

A XVIII—XIX. század tudománya nagyban épített *e mechanikai analógiákra*, s az ezeken alapuló *mechanikai modellekre*. Bár a ma tudománya hatalmas lépéseket tett az egyre magasabbrendű (az anyagban „mélyebben" rejlő) analógiák feltárása terén, a klasszikus mechanikai analógiák azonban még mindig sok helyen nagyon jó szolgálatokat tesznek, s a mechanikai modellek használata még mindig produkál szép eredményeket. A mind egzaktabb tudományokban azonban komoly hibát követünk el, ha megragadunk ezeknél

a mechanikai analógiáknál és modelleknél és *csak az azonosságokat vesszük észre* ott, ahol „magasabbrendű" vonatkozásban különbözőségek vannak, s az „új" azonosságok a mechanikánál „mélyebb" szinten jelentkeznek.

De a különböző mozgásformák közötti analogikus kapcsolatok nemcsak azt jelentik, hogy a mechanika modellül szolgál más mozgásformák jelenségei számára. Általános dolog, hogy valamely alacsonyabb mozgásforma analógiákat nyújt a nála magasabbfokúak részére. Ezzel kapcsolatban érdemes felidéznünk a maxwelli analógiameghatározást: „Fizikai analógián valamely tudományág törvényei és egy másik tudományág törvényei között fennálló olyan hasonlóságot értek, amelynek következtében az egyik tudományág a másik megvilágítását szolgálhatja." (J. Clark Maxwell. Scientific Papers. Vol. I. p. 156. — Idézve Fogarasi: Logika c. könyve IV. kiadásának 298. oldaláról.) — Tipikus jelenség a tudományos megismerésben, hogy valamely alacsonyabbrendű mozgásforma törvényszerűségei valamely nála magasabbrendű mozgásforma jelenségeinek magyarázatául szolgálhatnak.

Különösen a modern komplex tudományok tűnnek ki azzal, hogy bennük gyakran, igen *távolálló mozgásformák jelenségei közötti analogikus kapcsolatok* tárulnak fel a megismerés előtt. Ennek legtipikusabb példái a kibernetika, bionika, farmakopszichológia, asztronautika és atomfizika.

A térbeli formák, alakzatok mennyiségi vonatkozásaival a geometria foglalkozik. *A geometriai analógiáknak és az ezeken alapuló modelleknek* mindenkor jelentős szerepük volt a tudományos megismerésben. A szemléletesség a tudományos megismerés fontos tényezője, s ebben a geometriai analógiák és modellek fontos szerepet játszanak, különösen a megismerés alsóbb fokán (mechanikában, csillagászatban, fizikában, kémiában, de még az atomfizika kezdetén is), míg fejlettebb fokon a szemléletesség követelménye egyre inkább matematikai analógiák és modellek segítségével válik kielégíthetővé. Ez természetesen egyúttal azzal is jár, hogy a *szemléletesség* — talán ellentmondásosnak tűnik — *egyre elvontabbá válik.*

A megismerés szempontjából fontos a szemléletesség. Ennek biztosításában az analógia és az analogikus következtetés mindig igen fontos szerepet töltött be. De a *szemléletesség fogalma* is — mint minden más fogalom — *a fejlődésében vizsgálandó.* Amit ma szemléletesnek mondunk, az néhány évtizeddel ezelőtt, talán még egyálatlán nem volt annak nevezhető. Különösen a modern tudományok egzakt matematikai megalapozottsága tágította ki sajátos irányban a szemléletesség fogalmának tartalmát és terjedelmét. A változás tükröződik az analógiák és analogikus következtetések viszonylatában is. Alapjában véve joggal állítjuk fel azt a követelményt, hogy az analógiába állításnak egyúttal szemléletesnek is kell lennie, mert éppen ez adja meg az értelmét és létjogosultságát. Hiszen amidőn egy bonyolultabb jelenségnek általunk már ismert, alapvetőbb folyamatok között megnyilvánuló analógiáit kutatjuk, ezzel, a bonyolultat az egyszerűbbre visszavezetve, elsősorban a szemléletesebbé tételt kívánjuk szolgálni. Más kérdés természetesen az — amint erre már történt is utalás —, hogy közben a szemléletesség fogalma is egyre elvontabbá vált. E megállapítás vélt logikai ellentmondásossága azonnal feloldódik, ha a szemléletességet nem merev sztatikus, szinte holt követelménynek fogjuk fel, hanem dialektikusan vizsgáljuk: dinamizmusában, fejlődésében.

A mechanikai és a fizikai, de ezeken kívül egyre több egyéb mozgásformában is igen lényeges viszonylatként jelentkezik a *mennyiségi mozzanat*, amely a megismerés oldaláról *a matematika formájában* járul hozzá a *mennyi-*

ségi vonatkozású analógiák minél hűségesebb feltárásához, s ezen túlmenően, új ismeretek megszerzéséhez.

A tudományok fejlődésének hosszú utat kellett megtennie ahhoz, hogy a figyelem dolgok, s a jelenségek minőségi vonatkozásai mellett a mennyiségi mozzanataikra is ráterelődjék. *A létezők mennyiségi oldalainak absztrahálása* teremtette meg a matematikát, amely a természet megismerésének és megváltoztatásának, a természettudományok fejlesztésének egyik legfőbb eszközévé vált. Hamarosan kiderült, hogy a *dolgok, s a jelenségek közti analógiák legnagyobb mértékben éppen a mennyiségi mozzanatokban* jutnak kifejezésre. E matematikai analógiák tudományos jelentőségét erősen növeli éppen a nagyfokú elterjedtség, sőt, mondhatni, általános jelleg, amelyet éppen a matematikai tárgyalásmód tud biztosítani.

A matematikának a tudományos analógiában és analogikus következtetésben megnyilvánuló fontos szerepére már Lenin is utalt, amikor megállapította, hogy: „A természet egysége a jelenségek különböző területeire vonatkozó differenciálegyenletek 'meglepő analógiájában' nyilvánul meg." (Lenin: Materializmus és empíriokriticizmus. Művei. 14. köt., Szikra. 1953. 298. o.) Azóta egyre inkább ráterelődik a figyelem a matematika analógiafunkciót betöltő szerepére, nemcsak a mechanika és fizika területén (amiként az Lenin idejében volt), hanem egyre újabb kutatási ágakban. Ma már a kémia, a biológia, a társadalomtudományok, sőt egyes gondolkodással kapcsolatos tudományok (pl. logika) területén is egyre elterjedtebbé válik a matematika alkalmazása.

Az analógiafunkció betöltésére a modern tudományokban a matematika már nem csupán a differenciálegyenleteket képes felsorakoztatni, hanem a matematikai tudományok majdnem minden fontosabb diszciplináját: az algebrát, a valószínűségszámítást, az információelméletet — sőt ezeken belül egyes fogalmakat, mint pl. az entrópia, a valószínűség, a függvény fogalmát —, hogy csak néhány matematikai diszciplinát és fogalmat említsünk rendszertelenül, és a teljesség minden igénye nélkül.

A dolgok és a jelenségek *objektíve rendelkeznek* azokkal *a mennyiségi mozzanatokkal, meghatározottságokkal,* amelyek a *matematika sajátos nyelvén* és módszereivel mint differenciálegyenletek, entrópia, függvény-kapcsolat vagy információmennyiség tárulnak fel a megismerő tudat számára.

A mennyiségi mozzanatokban megmutatkozó analógiák kezdetben elsősorban azonos, majd közelálló mozgásformákon, s így tudományokon belül mutatkoztak meg, később azonban egyre többirányú — mennyiségi azonosságon alapuló — analogikus kapcsolat vált ismertté egymástól távol álló mozgásformák (tehát tudományok) között is. Ennek tipikus modern példája az a kapcsolat, amely a kibernetika művelése során tárul fel az elektronikus digitális számológépek és egyéb logikai gépek elektromechanikus, illetve élő szervezetek meghatározott idegélettani, sőt pszichológiai funkciói között. Ennek az analogikus kapcsolatnak a közvetítője a matematikai logikához tartozó információelmélet. A kibernetika művelésének kezdetén sokakat olyan váratlanul ért e felismerés, hogy, ezekből a mennyiségi analógiákból meg nem engedett módon extrapolálva, majdnem egyenlőségjelet kezdtek húzni a logikai gépek elektromechanikai és az agy neurofiziológiai-pszichológiai tevékenységei közé. E mechanikus idealista nézetek rendkívül károsak. De ugyanilyen helytelen az is, ha a kibernetikát áltudománynak igyekszünk beállítani, s tagadjuk vagy figyelmen kívül hagyjuk azokat az analogikus kapcsolatokat, amelyek távolálló

területek meghatározott (jelen esetben információelmélettel leírható) mennyiségi azonosságaiból, sokszor meglepő, de objektíve létező analógiáiból fakadnak.

Éppen *a mennyiségi mozzanatoknak a matematika fejlődéséből adódó élretörése* tűzte napirendre komoly formában *a bizonyíthatóság* lehetőségét, sőt szükségességét az analógiák és analogikus következtetések területén is, ahonnan ez, a fejlődés kezdetibb stádiumában, jóformán teljesen hiányzott. Miként a bizonyításokban mindenütt, úgy az analogikus következtetések területén is fontos szerepet játszik a kísérletek, modellek vagy alkalmazotti megvalósulások formájában jelentkező *gyakorlat.*

Egyébként, bár az egymástól távolálló területek közötti analogikus kapcsolat legtöbbnyire mennyiségi azonosságokon alapul, s így a matematika valamelyik ágának közvetítésével válik ismertté, gyakran előfordul azonban az is, hogy ilyen kapcsolatot, távolálló mozgásformák között, egyéb mozzanatok — mint pl. a tér- és az időbeli meghatározottság vagy más téren meg — mutatkozó azonosságok — létesítenek.

Az anyag térbelisége legfelszínesebb formában *az alakban* jut kifejezésre. Bár az alakbeli azonosság és hasonlóság jelentős analogikus kapcsolatok és következtetések forrása is lehet, mégis ez az analógia adott a legtöbb okot, a tudományos megismerés kezdeti időszakában, a hamis analogikus következtetésekre s az ezeken alapuló misztifikáló tendenciák kialakulására és elterjedésére. E felszínes analógiák dominálnak a vallások primitív nézeteiben és következtetéseiben, ahol, az antropocentrikus tendenciákkal egységben, gyakran komoly gátjai a tudományok fejlődésének. Az ókor és a középkor misztikus asztrológiája és alkímiája hemzseg ezektől a formális analógiáktól és a belőlük levont teljesen hamis analogikus következtetésektől, amelyek csúnyán megtépázták az analogikus következtetés tudományos tekintélyét, s az analogikus következtetéssel szemben ma megmutatkozó kételkedés, előítélet is legnagyobbrészt ezekre a — tudományos megismerés számára — rossz emlékekre vezethető vissza. A térbeli formák, alakzatok mennyiségi vonatkozásaival foglalkozó geometria analógiáiról már szólottunk, ezek különböző mozgásformákat összekapcsoló szerepe jól ismeretes és jelentős a tudományos megismerés történetében.

Az anyag időben létezik. E megjelenési formán belül a legtöbb analógiát *a fejlődési folyamat* biztosítja, amely minden anyag létezésének lényegéhez tartozik. Minden anyag adott állapota csak egy láncszem a világ örök mozgásában, változásában, fejlődésében és, ezen belül, az adott konkrét anyag változásában, fejlődésében. A tudományos megismerésben igen fontos szerepet játszanak a fejlődéssel kapcsolatos analógiák. Az élőlények fejlődésével kapcsolatos darwini felismerések termékeny analógiát jelentettek más tudományterületek számára is. Napirendre kerülhetett az elemek, elemi részecskék, vegyi anyagok, égitestek, társadalmak fejlődésének gondolata, és így hatalmas fejlődésnek indulhatott az atomfizika, kémia, csillagászat, geológia, paleontológia s még egy sor fontos tudomány, gazdagodva az evolúció eszméivel, s ez gyakran genetikus jellegű diszciplinák kialakulásában jutott kifejezésre. Az ontogenézis és a filogenézis megegyezésének darwini megsejtése és haeckeli felismerése is jelentékeny mértékben a bennük rejlő analógiák észrevételén s az ezt követő analogikus következtetésen alapult. De az analógia tovább vezetett a biológiából a lélektan, az állatlélektan, a társadalomtudomány és etnológia területére is. Az elemek periódusos rendszere elsősorban az elemek egységes eredete, egymásból történő kialakulása, fejlődése egyetemleges törvényszerűségének kifejezője, amelynek analógiájára napjainkban egyre komolyabb for-

mában válik ismertté az elemi részecskék fejlődését regisztráló tudományos rendszer is.

Az analogikus következtetésnek a tudományos megismerésben betöltött szerepét illetően legtöbbnyire annak *gondolatébresztő*, intuíciót előmozdító, tudományos előrelátást biztosító szerepét hangsúlyozzák. Ennek helyessége kétségtelen is, de egyúttal arról sem szabad elfelejtkeznünk, hogy a modern tudományokban — e kétségtelenül nagyvonalú, előnyös vonások mellett — fellépnek köznapibb, aprólékosabb, de egyben *egzaktabb megismerést biztosító* előnyös vonások is. Ez utóbbiak nem nyirbálhatják meg az előbbi előnyös vonásokból adódó pozitív eredményeket, de a — legtöbbször matematikai alapokon nyugvó — egzaktabb tárgyalásmód gondoskodik arról, hogy a tudományos fantázia szárnyalásai megmaradjanak a realitások keretein belül. A gondolatébresztő szerep általánosabb formában mint az analogikus következtetések és modellek jelentős ismeretelméleti funkciója: azok *heurisztikus funkciója* jelenik meg. A sikeresen felismert vagy megalkotott analógia és a jó modell megmutathatja az elmélet fejlődésének új útjait és (egyre módszeresebben) sugallhatja a kutatandó problémák helyes megoldásait.

Az analogikus következtetésekben bonyolult módon kapcsolódik egymással az indukció és a dedukció. Valójában e következtetés *az indukció és a dedukció dialektikus egysége.*

Hosszú időn keresztül — az analogikus következtetés fejlődésének meglehetősen elhúzódó első szakaszában — ezt a következtetési rendszert szigorúan a nem szillogisztikus következtetések körébe sorolják. E megállapítás — a módszer egzaktságának nagyarányú megnövekedésével és fejlődése sajátos vonásainak figyelembevételével — komoly korrekcióra szorul. Ez egyúttal azzal is jár, hogy alaposan meg kell vizsgálni a következtetések eddigi csoportosítását. osztályozását, mert ez nem olyan egysíkú, mint ahogyan az — kissé metafizikusan — a legtöbb logikakönyvben található. Az is egyoldalú, ha az analogikus következtetést mindenestül az ún. traduktív (általánost általánosító) következtetések sorába osztjuk, hiszen számos analogikus következtetésben éppen ellentétes tendencia érvényesül. Tudomásul kell vennünk, hogy az az aspektus, amely a kutatási módszereket induktívekre és deduktívekre (ill. traduktívakra) osztja, más, mint az, amely az analogikus következtetést hozta életre és különböztette meg a többitől.

Az ellentétek harca és egysége minden dologban konkréten jelentkezik, ami egyúttal azzal is együtt jár, hogy a dolog fejlődése folyamán hol az ellentétpár egyik pólusa, hol a másik dominál. Így van ez az analogikus következtetés esetében is. E következtetési módszer, bizonyos vonatkozásban — amint erről már az előzőekben is történt említés —, mint az indukció és a dedukció egysége fogható fel. Ennek nem mond logikailag ellent, sőt éppen az ellentétek konkrét voltából következik, hogy *az analogikus következtetés fejlődése során az induktív és a deduktív oldal nem mindig azonos súllyal szerepelt.* A fejlődés kezdeti — meglehetősen hosszú ideig tartó — stádiumában elsősorban az induktív oldal dominált. Erre vezethető vissza az is, hogy az analogikus következtetést még ma is sokan az induktív következtetésekhez sorolják. De a fejlődéssel egyre nagyobb szerephez jut a deduktív oldal, s ennek előretörésével egyre jobban kidomborodik az analogikus következtetések *szillogisztikus jellege.*

Az *analogikus következtetés sémájaként* szokták emlegetni a következőt: „*A*" dolog rendelkezik *a, b, c, d, e* és *f* tulajdonságokkal; „*B*" dolog is rendelkezik *a, b, c, d* és *e* tulajdonságokkal, s e megegyező tulajdonságokból következtet-

hetünk arra, hogy a „*B*" dolog is rendelkezik az „*A*" dolognál tapasztalt „*f*" tulajdonsággal. E séma azonban, ha nem töltjük meg konkrét tartalommal, könnyen válhatik a formalizmus és az analogikus következtetés vulgarizálásának melegágyává. Nem ragadhatunk meg egyszerűen ennél az önmagában keveset mondó sémánál, szimbólumkapcsolatnál, hanem az „*A*" és a „*B*" dolog *a*, *b*, *c* . . . stb. tulajdonságainak alapos dialektikus elemzésével kell alátámasztanunk az analogikus következtetés lehetőségét. Nézzük meg kissé közelebbről ezt a kérdést!

Csupán határesetként számíthatunk arra, hogy a „*B*" dologban ugyanazok az *a*, *b*, *c*, *d*, *e* tulajdonságok találhatók meg, mint az „*A*" dologban. Az azonosság legtöbbnyire többé-kevésbé korlátozott. A korlátozottság sokszor olyan mérvű, hogy feltétlenül indokolt a mérték kritériumának felvetődése, s célirányosabb az *azonosság* kifejezés helyett a *hasonlóság* kifejezés használata. A fenti szimbólumokat követve, azt mondhatjuk, hogy a „*B*" dolog *a'*, *b'*, *c'*, *d'* és *e'* tulajdonságokkal rendelkezik, amely tulajdonságok *csak bizonyos mértékig azonosak*, azaz valójában *hasonlóak* az „*A*" dolog *a*, *b*, *c*, *d* és *e* tulajdonságaihoz, ahol a hasonlóság mértéke természetesen különböző lehet az egyes tulajdonságokra vonatkozóan. Ebből következően (de egyéb tényezők miatt is) az „*f*" és az „*f'*" tulajdonságok azonossága, illetve hasonlósága is korlátozott mértékű.

Az elemzés másik fontos szempontja az is, hogy a szóban levő *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *a'*, *b'*, *c'* *d'* és *e'* tulajdonságok milyen mértékig *jelenségiek vagy lényegiek?* Bár a jelenség-lényeg dialektikus ellentétpár két pólusa minőségileg meghatározott, ez azonban nem jelenti azt, hogy e kapcsolat ne tartalmazhatna mértékfogalommal meghatározható mennyiségi mozzanatokat. A szóban levő tulajdonságok lényegességének mértéke ugyanis nagyban determinálja a várható „*f'*" tulajdonság lényegességének (sőt még ezt megelőzően: egyáltalán létezése valószínűségének!) fokát. A lényegesség mértékének figyelmen kívül hagyása komoly veszélyt rejt magában. Ha ugyanis az *a*, *b*, *c*, *d* és *e*, illetve az *a'*, *b'*, *c'*, *d'* és *e'* tulajdonságok erősen jelenségi természetűek, akkor méltán várható, hogy a „*B*" dolog „*f'*" tulajdonságának „felismerése" semmitmondó, vagy éppenséggel teljesen hamis, torz megismerést jelent, nem tükrözi helyesen az objektív valóságot.

Az *a*, *b*, *c* . . . stb. tulajdonságok azonban nemcsak a lényegesség-jelenségiség szempontjából vehetők elemzés alá, hanem a *konkrétság-általánosság oldaláról* is. A mérték kritériuma e téren is indokolt, s nem mond logikailag ellent a minőségi meghatározottságnak. Általánosságban igaz, hogy a megismerés kezdeti időszakában inkább az az eset dominált, hogy az *a*, *b*, *c*, *d* és *e*, illetve az *a'*, *b'*, *c'*, *d'* és *e'* tulajdonságok meglehetősen egyediek, konkrétak voltak, s ezekhez kezdetben ugyancsak konkrét „*f*", illetve „*f'*" tulajdonság párosult. Később egyre inkább az általánosság irányában történt az eltolódás. Ennek egyre gyakoribbá vált esete az lett, hogy az „*f*", ill. „*f'*" tulajdonságok az általánosság magasabb fokát jelentették, mint a következtetésre alapot adó *a*—*a'*, *b*—*b'* . . . stb. tulajdonságpárok. Ez valójában az indukciónak (a nem teljes induktív következtetésnek) az analogikus következtetésen belül megmutatkozó megjelenési formája.

A megismerés fejlődése során eme induktív-analogikus módszerek oda vezettek, hogy egyre több „*A*", „*B*", „*C*", „*D*" . . . stb. dolog vált ismertté, amely rendelkezett bizonyos *f*, *f'*, *f''*, *f'''* . . . stb. meglehetősen általános tulajdonságokkal. Ezt követően az „*A*" dolog *g*, *h*, *i*, *j* . . . konkrét tulajdonságaiból

arra lehetett következtetni, hogy a „*B*" is rendelkezik ezekkel a *g, h, i, j* . . . (ill. ezekhez meghatározott mértékig hasonló: *g', h', i', j'* . . .) konkrét tulajdonságokkal. A megismerésnek e módszere az induktív-analogikus módszer *inverze*, azaz valójában az analogikus megismerési módszer *deduktív oldala*, tehát a megismerés deduktív-analogikus mozzanata. Egyre több olyan „*f*" tulajdonság vált induktív-analogikusan ismertté, amely az általánosság magas fokával tűnik ki, s mint ilyen, nagy jelentőségű deduktív-analógiák rendező elvévé vált, és segítségével mind több „*B*", „*C*", „*D*", „*E*" . . . stb. dolog vált ismertté, amely rendelkezik az „*f*" általános tulajdonsággal bíró „*A*" dolog *g, h, i, j* egyedi (vagy „*f*"-nél kevésbé általános) tulajdonságaival. Itt is fokozottabban figyelemmel kell lenni arra, hogy a *g, h, i, j* tulajdonságok *g', h', i', j'* megfelelői csak meghatározott mértékig azonosak (hasonlóak) az előbbiekkel.

Az analogikus következtetések deduktív oldala vezet el bennünket oda, hogy észrevegyük e következtetési módban a *szillogisztikus jelleget* is. Bár a szillogizmus itt nem abban a tiszta formájában jelentkezik, ahogyan a „klasszikus deduktív következtetések" vizsgálatakor, de a valószínűségi jellegben s a mérték által korlátozott biztonságban rejlő kockázat bőven megtérül abban a merészségben, iránymutatásban, gondolatébresztésben, amely a deduktív-analógiák nyomán fakad, s amely a tudományos megismerésnek elengedhetetlen tartozéka, fejlődést előmozdító kelléke. Az ilyen analógia-dedukciókra nem áll az a megállapítás, hogy a nagy biztonság ellenében nem vezetnek új ismeretekhez. Bár a biztonság itt — a dedukciónak az analógiával való kapcsolódása folytán — kisebb mérvű, de ezt a hátrányt bőven kárpótolja az a tudományos előny, amit új ismeretek szerzése jelent.

A rohamosan fejlődő tudományos megismerés *az analogikus indukció útján hatalmas tömegű általánosság ismeretének birtokába jutott*. Sokszor, amidőn ezek alapot adnak analogikus dedukciókra, szinte elhomályosul analogikus-induktív eredetük. Különösen alkalmat ad az induktív eredet elhomályosítására a — tudományos megismerés történetében gyakori — olyan eset, amidőn az általánosság mint feltételezés, ill. posztulátum jelenik meg. Amíg a megismerés kezdeti időszakának leggyakoribb — analogikus következtetéssel nyert — ismerete induktív jellegű volt (s a fokozódó általánosság irányában haladt), addig a modern tudományos megismerésben az analogikus következtetési eljárás legfényesebb — néha éppen korszakalkotó — eredményei deduktív természetűek, s ezek közül is nem ritka az az eset, amidőn az analogikus következtetés alapját adó általánosság csupán posztulátum. Kétségtelen, hogy a biztosság mértékét erősen befolyásolja az alap feltevésjellege, de ha az ezen épülő analogikus következtetés helyességét a tudományos gyakorlat igazolja, ez egyben a feltételezésnek az objektív valóságot tükröző voltát (tehát jó megválasztását) is bizonyítja. Ismételten hangsúlyozni kell, hogy bár indokolt analogikus-indukcióról vagy analogikus-dedukcióról beszélni, aszerint, hogy az analogikus következtetésen belül az indukció-dedukció dialektikus ellentmondás melyik pólusa dominál, valójában azonban minden analógia és analogikus következtetés egyaránt tartalmazza az indukció és a dedukció mozzanatait.

Sokszor a dolgok azonos vagy hasonló *a, b, c, d, e* . . . „tulajdonságai" mint különböző dolgokra egyaránt érvényes *törvényszerűségek* jelennek meg. Ezek felismerése, természetesen, indukció következménye, de az ezek alapján végezhető analogikus következtetések legtöbbnyire deduktív jellegűek.

A „tulajdonság" *az alkalmazott* — analógiát szolgáltató — *kutatási*

módszer formáját is öltheti. Természetesen a módszer mögött mindig valamilyen objektív tulajdonságkomplexum, törvényszerűség-jelleg húzódik meg.

Az analogikus következtetés eredményeként megkapott „*f*" azonos (vagy hasonló) közös tulajdonság jelenleg már csak ritkán vonatkozik valamilyen konkrét tulajdonságra, egyre inkább *általános törvényszerűség, genetikus kapcsolat, alkalmazhatósági azonosság* (ill. hasonlóság) formáját ölti.

Az analogikus következtetés szerepe a természettudományokban

Az analogikus következtetés mindig fontos szerepet játszott a természettudományok fejlődése során. A természettudományok története számos példát nyújt az analogikus következtetés kutatást megtermékenyítő, új ismereteket eredményező alkalmazására.

Nézzük mindenekelőtt

a mechanika és a fizika

területét.

A mechanika és a fizika mennyiségi vonatkozásai és térbeli viszonylatai a matematika és a geometria segítségével modellálhatók. A mennyiségi és a térbeli viszonyokban meglevő objektív azonosságok a modellekben is tükröződnek és így analogikus kapcsolatokat „hoznak létre" meghatározott dolgok, jelenségek között. Így pl. a *gravitáció* földi viszonyok közt megismert törvényszerűségei érvényeseknek mutatkoztak csillagászati vonatkozásban is. Az általános tömegvonzásban a tömegek közti erőhatás matematikai modellje, bizonyos vonatkozásban, azonosnak mutatkozott az elektrosztatikai, valamint a mágnességi kölcsönhatási erő *Coulomb* által meghatározott matematikai modelljével. E távoli területek közti analógia felismerése több hasznos analogikus következtetés alapját adta meg.

Míg az erőhatásra vonatkozó mennyiségi felismerés a gravitációval kapcsolatban kezdődött, addig a hatásmechanizmust felderítő vizsgálatok terén elsőnek az elektromosság és a mágnesség jelenségei alakították ki a *modern erőtér-* (mező-) *elméletet.* Innen azután analogikus következtetés vezet a matematikailag analóg területekre: a gravitációs erőtér, majd a modern atomfizika magerőtér-elméletének kidolgozásához.

Szinte felbecsülhetetlen az analogikus következtetés pozitív szerepe a *hullámmechanika* kialakulásában és fejlődésében. A fizikában a hullámszerűség elsőnek a hangtani vizsgálatokkal vált ismertté. A hang hullámtermészetének tényéből következtetett *Huyghens* analogikusan a fény hullámszerűségére. A további általánosítás — az alapvetőbb elektromágneses jelenségek, majd különféle, ugyancsak elektromágneses természetűnek bizonyult sugárzási jelenségek hullámszerűségére — szintén az analogikus következtetés jelentős sikereként könyvelhető el. *Maxwell,* az elektromágneses fényelmélet egzakt matematikai megalapozója, különösen termékenyen alkalmazta munkája során az analogikus következtetést, sőt igyekezett módszertanilag is tudatosítani az analógia természettudományi alkalmazásának nagy jelentőségét. Évszázadokig dúlt a harc, a fényelméletben a hullámelmélet és a korpuszkuláris magyarázat között. De ez a küzdelem később kiterjedt az elektromágneses jelenségek egész területére, sőt, újabban *de Broglie* analogikus módon *az anyagra* (matériára) is alkalmazta azt a felfogást, hogy benne a hullám- és korpuszkula-jelleg dialektikus egysége mutatkozik meg. A fotonokra kimutatott „kettős természet"

analógiája elsőnek az elektronokkal kapcsolatban mutatkozott indokoltnak, a hullámmechanika további fejlődése során azonban kiderült, hogy *de Broglie* analogikus következtetése a többi atomi (és általában: elemi) részecskére is alkalmazható. Tehát a mai fizikának ez az egyik legfontosabb elmélete az anyag hullámtermészetéről valójában a sugárzó atom és a hangszerek közti analógia alapján keletkezett, és így voltaképpen ez az analógia adott alapot a fizika teljesen új ágának, a hullámmechanikának a kidolgozására. E mély analogikus kapcsolat jelenik meg a legkülönfélébb színképek (fény-, röntgen-, rádiósugárzás-, sőt hang-színkép stb.) természetében és gyakorlati alkalmazhatóságában is. De ugyanez az alapvető analógia ad alapot arra is, hogy egyéb analógiákat is feltételezzünk. Így pl. ma már bebizonyosodott tény, hogy a hangra vagy fényre érvényes „mechanikai tulajdonságok" (mint pl. visszaverődés, törés stb.) az elektromágneses hullámok és az anyag-hullámok egyéb területein is megtalálhatók, természetesen, sajátos módon, s ennek az analógiának igen fontos gyakorlati alkalmazási lehetősége is van.

Ugyancsak az analógia alkalmazására bukkanunk, ha a mechanikai hőelméletet mint *a hőtan mechanikai modelljét* értelmezzük. Sok példával lehetne illusztrálni annak tudományos fontosságát, amit annak idején *az elektromosság és a hő közötti analógia* jelentett az elektromos jelenségek számos tulajdonságának és törvényszerűségének tisztázása terén.

A fizikus a felfedezésekben, felismerésekben igen sokat köszönhet az analogikus következtetésnek. *Franklin* például analogikus következtetés útján jött rá arra, hogy a villám elektromos jelenség.

A fizikából és mechanikából vett e néhány példa és rövid elemzés után vizsgáljuk meg egy rokonterületnek,

az atomfizika

tudományának fejlődését, az analógiák és analogikus következtetések alkalmazása szemszögéből.

Az analogikus következtetés jelentős szerepet játszott az atomfizika fejlődésének különböző szakaszaiban. Gondoljunk arra, hogy milyen használhatónak bizonyult az atomfizika kialakulásának első időszakában az a *mechanikai jellegű* — némiképpen az égi mechanikából vett — *analógia*, amelyet *J. J. Thomson*, majd *Rutherford* és, később, *Bohr* alkalmazott az *atomok modellálására*. Természetesen, ahogyan az atomfizika tudománya fejlődött, ezekkel a mechanisztikus jellegű modellekkel már nem lehetett megmagyarázni az atom, illetve az atommag igen lényegesnek mutatkozó tulajdonságait. Új analógiák után kellett nézni a szemléletesség további biztosítása és új ismeretek szerzése érdekében. E modellek, amelyek kidolgozásában *Schrödinger, Heisenberg, Bohr, Fermi* és *Balmer* értek el jelentős sikereket, jellegüket tekintve már *kvantummechanikai-statisztikai* természetűek voltak, és segítségükkel egyre jobban leírhatók lettek az atomi tulajdonságok és átalakulási jelenségek.

De az atommodellen belül *a magmodellek kidolgozásában* is nagyon lényeges szerepet tölt be az analogikus módszer. Az atommag *Fermi*-féle „gázmodellje" vagy *Bohr*-féle „folyadékcsepp-modellje" igen gyümölcsözőnek bizonyult. E modellek továbbfejlesztése során az atommag héjmodelljének és cseppmodelljének összeolvasztásából kialakított „egyesített modell" megszüntette a régi modellek bizonyos egyoldalúságait, s létrehozta a modern kutatások eredményeivel leginkább összhangban levő, egyesített magmodellt.

A magreakciókkal foglalkozva, kidolgozták a rezonanciák elméletét, amely a *mechanikai rezonancia analogikus kiterjesztése* a mag nukleonjaira és, így, az atommag egészére. A magreakciók sajátosságait vizsgálva jutott el az atomfizika, *Bethe* nyomán, az ún. „optikai modell"-hez, amelyben a neutron és a mag kölcsönhatását egy fényhullámnak átlátszó üveggömbön való szóródásához hasonlíthatjuk. Ez az analógia termékenynek bizonyult, de bizonyos ellentmondások szükségessé tették továbbfejlesztését. *Bohr* a közbülső mag gondolatának felvetésével eredményesen segítette elő a magreakciók leírásának pontosabbá tételét. Az ő hipotézisét alapul véve alkották meg 1954-ben *Weiszkopf* és társai *a magreakciók magyarázatára* „az átlátszó (régi!) üveggömb-modell" helyett „a homályos (új!) üveggömb-modell"-t.

Az atommagreakciók vizsgálata nyomán kimutatták, hogy az atommag gamma-sugárzás hatására polarizálódik, elektromos dipólust alkot. Természetesen, az atommag nem marad meg ebben a polarizált állapotban, mert a protonok és a neutronok között ható magerők a különvált részeket visszahúzzák. A jelenség hasonlít egy megfeszített rugóhoz, amely elengedés után csillapodó harmonikus rezgőmozgást végez. A mag esetében is egy harmonikus rezgőmozgás alakul ki. E jelenség magyarázza a minden atommagnál előforduló ún. „óriásrezonanciát", amelynek maximális energiáját a gammasugárzás hatására kialakult harmonikus rezgőmozgás frekvenciája határozza meg. Tehát a mechanikai és az elektromágneses rezgés, illetve rezonancia analógiája a magreakciók magyarázatában is komoly tudományos sikerhez vezetett.

A természet legegyetemlegesebb törvényszerűségei közé tartoznak az ún. *megmaradási tételek*, amelyek *analógiái a magfizikában is megtalálhatók*. Itt eme általános törvényszerűség a töltésmegmaradás, a tömegszám-megmaradás, a polaritás-megmaradás, az impulzusmomentum-megmaradás és a magfizikai energia-megmaradás konkrét megjelenési formáit öltik.

A magmodellek kidolgozásakor a felületi nukleonok viselkedésének értelmezésében sok segítséget jelentett a folyadékcseppek felületén tapasztalható *felületi feszültség analógiája*.

A párhuzamosan végzett atomfizikai és asztronómiai vizsgálatok sok konkrét azonosságot és hasonlóságot mutattak ki *az energiaátalakulások* terén. E felismerés jelentős analogikus következtetéseket tett lehetővé, amelyek hatalmas mértékben lendítették előre mind az atomfizikai, mind pedig a csillagászati kutatásokat.

A fizikával kapcsolatban már történt említés arról, hogy, az elektromágneses térelmélet mintájára, az atomfizikában is kialakult, a magerők természetének magyarázatára, *a magerőtér speciális térelmélete*. Ennek megalkotásában *Yukawa* 1935-ben, *az elektromágneses tér kvantumelméletével vont párhuzamra* támaszkodva, feltételezte, hogy a magerőtér is rendelkezik mind a részecske-természettel, mind a hullámtulajdonságokkal. Ez az analogikus következtetés rendkívül termékenynek bizonyult, s a modern mezontérelmélet komoly elméleti és gyakorlati sikerekről adhat számot.

Az analogikus következtetések egyik legjellegzetesebb és legtanulságosabb példája az atomfizikában *Balmer* gondolatmenete bizonyos spektroszkopikus elméletek kiindulópontját jelentő formulájának megalkotásában. *Balmer* nagy geometriai analógiaérzéke gyakran megmutatkozott a geometriai analógiák sokoldalú alkalmazásában. De más területekről is szívesen és sikerrel alkalmazott analogikus következtetéseket. A hidrogén színképvonalainak hullámhosszát megadó formulájának levezetéséhez igen kevés adat állott ren-

delkezésére. Munkájában a hangtan analógiájából indult ki. Ismeretes, hogy a dur-skála egymás után következő hangjainak az „*r*" rezgésszámait az alapul felvett hang „*h*" rezgésszámából 9/8, 5/4, 4/3 . . .-dal való szorzás útján kapjuk meg. *Balmer* úgy okoskodott, hogy mivel a fény is rezgés, bizonyára a hidrogénspektrum különböző vonalainak a rezgésszámaihoz is megadható egy olyan „*h*" alapszám, amelyet a p_1/q_1, p_2/q_2 . . . egyszerű egész számokból alkotott törtekkel megszorozva, megkapjuk a hidrogén spektrumvonalainak összes frekvenciáit. Kutatásait siker koronázta, s ebben nem csekély szerepe volt annak *a merész analogikus következtetésnek*, amelynek segítségével az igazán gyér kísérleti adatok ellenére bátran és jó kombináló készséggel fogott hozzá a csak sejtett összefüggés megkereséséhez.

Kétségtelen, hogy az atomfizika analógiáinak nagy részét elsősorban a mechanikából és a fizikából veszi. Dolgoznak azonban az atomfizikusok egyéb analógiákkal is. Így pl. *a kémia is szolgáltat jól hasznosítható analógiákat* az atomok és atomi részecskék tulajdonságainak, változásainak jobb megértéséhez. A teljesség minden igénye nélkül nézzük ennek egy-két — minden rendszeresség nélkül kiragadott — példáját.

Az atommagsűrűség telítettségének magyarázatára kémiai analógia alapján került sor. Abból, hogy a mag — egy nukleonjára eső — kötési energiája közelítőleg független a magban jelenlevő nukleonok számától, arra kell következtetnünk, hogy a mag valamely kiszemelt nukleonját a magerő nem köti összes társához, hanem mindig csak korlátozott számú szomszédjához. Ez az észrevétel *Heisenberget* arra indította, hogy párhuzamot vonjon a mag nukleonjait összetartó magerők és a molekulák atomjait összetartó kémiai erők között. Feltételezte, hogy két nukleon között is, a spinfüggvény szimmetriájától függően, hol vonzó, hol taszító erő hat. Ezen analogikus következtetés létjogosultságát egyáltalán nem vonhatja kétségbe az a tény, hogy *Heisenberg* magerő-feltevése a későbbiek során módosításra szorult, miután a legkönnyebb magokra vonatkozó megfigyelések ellentmondtak neki. Hiszen egyéb analógiákkal is ez a helyzet: mindegyik csupán meghatározott konkrét azonosságokra vonatkozik, ilyen értelemben gondolatébresztő, iránymutató új magyarázatok, elméletek, kutatások számára, ha azonban bármely analógiát az érvényességi körén túl kívánunk alkalmazni, téves úton járunk.

A *láncreakció fogalma* is előbb volt ismeretes a kémiában, mint az atomfizikában. A kémiai láncreakciók mechanizmusának ismerete többirányú analogikus következtetést tesz lehetővé, de az analógia lehetősége, nyilván itt, sem helyettesítheti a magfizikai láncreakciók konkrét tanulmányozását, hiszen a kétféle láncreakció azonosságok mellett sokféle különbözőséget is mutat.

A szerves kémiában ismeretesek olyan vegyületek, amelyek tapasztalati képlete (%-os összetétele) megegyezik egymással, kémiai és fizikai sajátosságaik azonban eltérnek. E vegyületeket izomereknek nevezzük. Az atomfizikában is ismeretes hasonló jelenség. Vannak azonos rendszámú és tömegű, de különböző radioaktív tulajdonságokkal és energiával rendelkező atommagok. E jelenséget a kémiából vett analógia alapján *magizomériának*, az ilyen magokat izomer magoknak nevezzük.

Az elektronok kvantummechanikai tulajdonságait kifejező kvantumszámokhoz hasonlóan a magfizikai kutatások a magok és elemi részecskék sajátos tulajdonságaira, s az ezekre utaló kvantumszámokra mutattak rá. *Wigner* elmélete a mag bizonyos tulajdonságait magyarázni tudta azon az alapon, hogy a protont és a neutront ugyanazon elemi rész, a nukleon két

különböző „töltésállapot"-ának tekintette. A magspinre vonatkozó vizsgálatok során *analógiát fedeztek fel a spin- és a töltésállapotok között.* Az analógia kezdetben csupán formálisnak mutatkozott, s így ennek alkalmazása csak mint munkahipotézis lehetett indokolt. A további kutatások során azonban e kezdetben formai analógia fizikai elmélet rangjára emelkedett, mivel az alapján nyert új fogalmakról kiderült, hogy azok valóban realitásokat tükröznek.

A következőkben

a csillagászat

területén végezzünk rövid áttekintést az analogikus következtetések alkalmazása szempontjából.

A tudományos megismerés kezdete különösen bővelkedett analogikus következtetésekben. Ezek nagy részét a formalizmus jellemezte. Gyakori volt az az eset, hogy valamely mozgásforma meghatározott jelenségének megmagyarázásához magasabb fokú mozgásforma területéről vett analógia segítségével próbáltak eljutni. Ez a legtöbb esetben az antropocentrikus nézetek egyik megnyilvánulási formája volt. Az ókor és a középkor csillagászata különösen bővelkedik formális analógiákban, antropocentrikus nézetekben, hamis analogikus következtetésekben. A csillagászatban elterjedt hamis analógiák jelentős módon hozzájárultak ahhoz, hogy az analogikus következtetések tekintélye hosszú időn keresztül meglehetősen kicsiny volt.

De a tudományos fejlődés a csillagászatban is egyre inkább kiszorítja a hamis analógiákat. Kiváló tudósok munkája nyomán egyre növekszik az analogikus következtetés tudományos tekintélye.

Kant — a csillagászat, s ezen belül a kozmogónia egyik legjelentősebb úttörője — például az égitestek keletkezéséről írott munkája előszavában kiemeli, hogy az analógia tudatos alkalmazása nagy szerepet játszott felfogásának kialakításában. A kozmogóniában nagy szerepet játszó matematikai, geometriai, mechanikai, fizikai és atomfizikai modellek ugyancsak az analogikus következtetések fontossága mellett tanúskodnak. A mechanika és az égimechanika, a fizika és az asztrofizika számos analógiája jelentős lépéssel vitte előre a csillagászat tudományát.

Számos analogikus következtetés alapját vetette meg a meteoritok tanulmányozása, kémiai elemzése, a színképelemzés felfedezése, a rádiószpektroszkópia fokozódó térhódítása, a magfizikai folyamatok egyre nagyobbmérvű megismerése. A gravitáció egyetemlegességének, az általános tömegvonzás törvényszerűségének felfedezésével nagy jelentőségű analogikus következtetések lehetőségei tárultak fel.

Az ókor gondolkodói számára a geometria adta az első ösztönzést ahhoz a sejtéshez, hogy a Föld — és a többi égitest is — gömb alakú. Bár a püthagorászi számmisztika — amely abból indult ki, hogy a természet különféle számtani és mértani szabályosságokhoz igazodik — alapvetően haladásellenes nézetet képviselt, egy-két esetben mégis helyes sejtések, fejlődést támogató gondolatok kialakulásához járult hozzá. Így a Föld s az égitestek gömb alakúságának megsejtésében a püthagorászi tanoknak is volt némi haladó szerepük.

A logikai tankönyvekben legtöbbször az *égitesteken* (pl. a Marson) *levő élet lehetőségének* szinte már klasszikussá váló példáját szokták emlegetni az analogikus következtetések alaptípusaként, lényegének bemutatására.

Vannak *tudományos módszerek*, amelyeket a különféle tudományok egyaránt alkalmaznak. E módszerek analogikus kapcsolatba hozzák egymással a sokszor egymástól távol álló tudományterületeket. A különböző dolgok fejlődésének tudományos vizsgálatára gyakran alkalmazott módszer a fejlődés más és más fokán álló egyedek és csoportok megfigyelése. E módszer különösen a biológiában, geológiában, etnológiában és kozmogóniában vezet a fejlődés minél alaposabb megismeréséhez. A dolog természetéből következik, hogy e módszer elsősorban a kozmogóniában veszi át a fejlődés megismerésében a főszerepet. Az asztronómiai folyamatoknál a fejlődést évmilliókban, sőt évmilliárdokban mérhetjük. A csillagász megfigyeli a fejlődés különböző fokán álló naprendszereket, összehasonlítja őket egymással, és ezáltal rekonstruálható pl. a mi naprendszerünk keletkezésének története és fejlődése. Egyébként *Herschel* híres angol csillagásztól származik az az analógia, hogy amint az erdőben nyomon követhetjük a tölgyfa több évszázados történetét a makk, a facsemete, a fiatal tölgy és a faóriás megfigyelésével, a különféle óriás, törpe, forróbb és hidegebb csillagok egyidejű tanulmányozásával megismerhetjük a csillagok sok évmilliárdos történetét.

Igen sok neves csillagász épített munkájában a „kozmogóniai aktualizmus" termékeny analógiájára. Így pl. *Buffonnak* egy 1860-ban megjelent igen fényes üstökös adta azt az ötletet, hogy a naprendszer keletkezését a nap és egy üstökös véletlen összeütközésére vezesse vissza.

Mint minden tudományban, így a csillagászatban is fontos szerepet töltenek be a munkahipotézisek, amelyek felállításában gyakran szerepelnek analógiák. Ezek még akkor is jelentősek, ha később, esetleg, túlhaladja őket a fejlődés. Ez érvényes azokra az analógiákra is, amelyekkel a csillagászat szolgál más tudományok számára. Így pl. amidőn a *Bohr*-féle atomelmélet s az ezt kifejező atommodell napvilágot látott, sokan még komoly analógiát tételeztek fel a nap és a bolygóvilág, illetve az atomszerkezet között. Ma már tudjuk, hogy e látszólagos hasonlóság mellett számos különbözőség különíti el egymástól az asztronómiai és az atomi rendszereket.

Az analógián alapuló modellezésnek rendkívül nagy szerepe van a tudományos megismerésben. Segítségével lehetővé válik bonyolult folyamatok lényeges mozzanatainak kiválasztása és tanulmányozása, új ismeretek szerzése céljából. Továbbá: a modellek fontos oktatási célokat is szolgálhatnak, segítségükkel elképzelhetőkké és könnyen érthetőkké válnak egyéb módszerrel nem vagy csak nehezen tanulmányozható jelenségek, objektumok. Az atom- és a kristálymodellek, a technikai folyamatmodellek, a biológiai és a pszichológia egyes területein alkalmazható mechanikus-elektronikus modellek, a műszaki tudományok igen sokoldalú modelljei nagyban hozzájárulnak e tudományok eredményesebb oktatásához. A csillagászat is már igen régóta rendelkezik az oktatás és az ismeretterjesztés célját szolgáló modellekkel, amelyek legfejlettebb formája *a planetárium*. Már *Arhimedész, Huyghens, Juanelo Turriano* és az ókor, középkor más kiváló csillagászai, mechanikusai terveztek és építettek csillagászati órákat és planetáriumokat a bolygómozgások bemutatására. Természetesen, a régi planetáriumoktól a mai berendezésekig nagy fejlődés ment végbe. A modern Zeiss-planetárium, tökéletes mechanizmusa révén, sokkal jobb analógiáját nyújtja a bolygók valóságos mozgásának, mint azt még a régi modellek tehették. A modern planetárium megtalálható a világ csaknem valamennyi nagyvárosában, s a csillagászati oktatás és ismeretterjesztés fontos és eredményes eszköze.

területe is bővelkedik analógiákban, s a kémiai megismerésben is jelentős sikerekről adhat bizonyságot az analogikus következtetés.

Miként az asztronómiának, úgy a kémia művelésének kezdeti időszakában is sok bajt okoztak a felszínes, formális s így erősen antropocentrikus, tehát valójában hamis analógiák és téves analogikus következtetések. Ismeretes, hogy az alkímia korában a legfelületesebb, a lényegestől nagyon távol álló „analógiába állítások" alapján vélték megtalálni a „bölcsek kövét", óhajtottak aranyat készíteni. Az alkímia éppen e hamis analógiák révén mutatja a legközelebbi rokonságot az asztrológiával, a horoszkópkészítés „tudományával".

De miként az egyre fejlődő asztronómia is mind nagyobb tekintélyt adott az analogikus következtetésnek, úgy az alkímiából kémiatudománnyá érlelődött kutatás is új alapokra fektette az analogikus következtetés eléggé megtépázott tekintélyét. Ma már senki sem vitathatja komoly formában e következtetések szerepének jelentőségét.

Ismeretes, hogy Mengyelejev korszakalkotó felfedezésének, az elemek periódusos törvényszerűségének megállapításában abból indult ki, hogy a newtoni mechanika alapelveit kell analogikusan alkalmazni a kémiában. Fő művének címe („Kísérlet az elemek atomsúlyán és kémiai *hasonlóságán* alapuló elemrendszer felállítására") is utal arra, hogy munkájában az analógiának jelentős szerepet tulajdonít.

Tudjuk, hogy milyen fontos szerepet töltenek be a kémiai megismerésben az egyre pontosabb matematikai és geometriai modellek.

A különféle elemeknél az elektronkonfiguráció azonossága, vegyületeknél pedig az azonos gyökök, ill. gyökcsoportok létesítenek objektív analógiát, s adnak alkalmat analogikus következtetésekre. A matematikai, geometriai és mechanikai analógiákon kívül a különféle fizikai analógiák is igen fontos szerepet jászanak a kémiában. Az indukció, a polarizáció, a dipólus analógjai a kémia sajátos megjelenési formáiban is jelentkeznek.

Figyelemre méltó analógia állapítható meg a kémiai és az atomfizikai láncreakció és, így, a kémiai és az atomfizikai robbanás között is.

A *homológia* is az analogikus kapcsolatok jellegzetes kémiai — elsősorban szerves kémiai — megnyilvánulási formája.

Ugyancsak jelentős analógia mutatható ki a természetes nagy molekulájú anyagok és a műanyagok között is. De az analógia nemcsak ilyen passzív módon jelentkezik a kémiában. Hiszen pl. a meghatározott cél érdekében előre megtervezett molekulaszerkezetek realizálása is csak az objektív analogikus kapcsolatok figyelembevételével és gyakorlati felhasználásával vált lehetővé.

A geológiában

az ún. „*geológiai aktualizmus*" *lyelli tana* volt az analogikus következtetés első igazán nagy jelentőségű győzelme. *Lyell* abból indult ki, hogy a Föld történetének őskorában ugyanazok a természettörvények hatottak, mint ma is. Az addig uralkodó katasztrófaelmélet megdöntésével új irányt adott a geológiának. Mivel azonban *Lyell* az analógia geológiai alkalmazásában egyoldalúan s, így, mechanikusan járt el, teljesen változatlanoknak fogva fel a Földön működő erőket, azért alapjában haladó és forradalmi elmélete hibák forrásává is vált. Ezek kiküszöbölése a mechanikus materializmus talaján nem volt lehetséges, erre csak a dialektikus materializmus mutatkozott alkalmasnak.

Az ismeretek előrehaladásával analogikus kapcsolatot lehetett kimutatni egyrészt a földi mágnesség és elektromosság, másrészt — az előbbieken túlmenően — a földi elektromágnesség és az asztroelektromágnesség között, amely utóbbinak az előbbi csupán speciális esete.

A meteorok anyagának a Föld anyagával való azonossága analogikus kapcsolatba hozza egymással a geológia és az asztronómia tudományát, sőt hozzájárul a világ anyagi egysége minél teljesebb feltárásához.

A modellezés mint az analogikus kapcsolatok feltárásának és az analogikus következtetések gyakorlati kivitelének egyik módszere, a geológiában sem ismeretlen. A geológiai folyamatok mechanikai, fizikai, kémiai (és komplex) modelljei régóta ismeretesek egyrészt mint az oktatás, a didaktikai célkitűzések eszközei, másrészt mint új ismeretek felé vezető kutatási módszerek. A sok-sok példa közül csupán egyet említsünk meg. A Szovjet Tudományos Akadémia Geofizikai Intézetében modellkísérletet végeztek annak megállapítására, hogy miként történhetett a Kara-Tau hegység ércesedése. A hegység kicsinyített modelljén végezték el a feszültségvizsgálatokat. A legnagyobb feszültségek a modellen a redők szárnyain mutatkoztak. A laboratóriumi asztalon néhány másodperc alatt megismételték modellszerűen mindazt, ami a természetben évmilliók során zajlott le. A kutatófúrások igazolták a modellkísérlet eredményeit: az ércet valóban megtalálták a gyűrt redők szárnyain. A földkéreg modellezésének ez a módszere nagy érdeklődésre tarthat számot. Nemcsak a földfelszínen nem észlelhető, elfedett érctartalmú hasadékok kimutatására használható fel, hanem a bányaterek várható beomlásának megállapítására és sok más geológiai feladat megoldására is.

Kevés tudományban mutatható ki az analógiák és analogikus következtetések aktív szerepe olyan szembetűnően, mint

a biológia tudományokban

Nagy általánosságban igaznak mondható, hogy minél kevésbé egzakt egy tudomány, annál inkább dolgozik analogikus következtetésekkel. Egy tudományon belül pedig az adott tudomány fejlődésének kezdeti szakaszában játszanak nagyobb szerepet az analogikus következtetések. A filozófia és a szaktudományok fejlődésével az analogikus következtetések is egyre fejlődnek, annyira, hogy a modern tudomány analogikus következtetései szinte minőségileg is mások, mint a régebbi korok sok antropomorf és formális vonást magukon viselő analógiái. A következtetések mechanisztikus jellegét egyre inkább háttérbe szorítják a dialektikus elemek, sőt a modern tudományok analogikus következtetéseit már a dialektikus módszer tudatos alkalmazása jellemzi.

Kétségtelen, hogy a biológia kevésbé egzakt, mint a fizika, atomfizika, asztronómia vagy kémia, és így, benne az analogikus következtetésnek már ezért is nagyobb szerep jut.

A tudomány művelésének kezdeti időszakára jellemző antropocentrikus és felszínes analógiák itt is meglehetősen sokáig kísértenek, sőt „modernebb" formában még ma is igyekeznek alátámasztani a vallásos és az idealista filozófiai nézeteket. A fejlődés azonban kétségtelenül itt is a hamis analógiák fokozatos kiküszöbölésének irányában halad.

Az analogikus következtetési módszer kétségtelenül legfényesebb sikere a darwini fejlődéselmélet kialakulása és továbbfejlődése. Az ember állati származásának gondolata nem *Darwintól* származik. *Titus Lucretius Carus* római költő már az i. e. I. században is felvetette ezt a gondolatot, öntudatlanul

is az analogikus következtetés módszerét választva. Nézetei valójában *Epikurosz, Anaxagorász, Anaximandrosz, Empedoklész, Arisztotelész* és *Hippokratész* tudományos megállapításait tükrözik. A termékeny darwini tanok alapját valójában *Arisztotelész* és *Galenus* leíró jellegű anatómiai és rendszertani munkái teremtették meg, amelyekben az állati és az emberi testalkat egymás mellé állítása összehasonlításokra, hasonlóságok és különbözőségek megállapítására csábított, lehetőséget adva ezzel analogikus következtetésekre.

Konkrét tudományos adatok hatalmas tömegének kellett összegyűlnie ahhoz, hogy az objektív analogikus kapcsolatok kimutathatók legyenek és alapot adjanak genetikus összefüggések feltárására. Az összehasonlító anatómia, fiziológia, patológia és parazitológia (és a többi összehasonlító biológiai diszciplina) számtalan ténymegállapítása megannyi „analógiába állítást" jelent, ahonnan csupán egy lépés vezet az analogikus következtetések levonásáig. E lépést többen bátran meg is tették; a legnagyobb tudományos felkészültséggel és világnézeti tisztánlátással kétségtelenül *Darwin* hajtotta végre a következtetéseket, eljutva egészen a (biológiai értelemben vett) legtágabb körű általánosításhoz: a fejlődés általános jellegének felismeréséhez az élőlények világában.

A darwini fejlődéselmélet a biológiai diszciplinák magas fokú szintézise. Benne az összehasonlító anatómián és a fiziológián kívül az embriológia és a szisztematika mellett igen fontos szerepet játszanak a paleontológia, a parazitológia, a patológia, a zoológia, sőt ezeken túlmenően, egyes geológiai diszciplinák is.

Tudományos módszerében is igen sokoldalú volt, műveiben kiemelkedő szerep jut az analogikus következtetési módszernek is. S ez nemcsak mennyiségi vonatkozásban értendő, hanem abból a szempontból is, hogy *Darwinnak* fontos szerep jutott az analogikus következtetés egzakt tudományos módszerré fejlesztésében, az analógiák bizonyító szerepének felismerésében. Egyútsal sokat tett az analógiák és az analogikus következtetések dialektikus feltogása terén is. Tudatosan építette bele az analogikus következtetést a tudományos megismerés teljes rendszerébe.

Mindezek ellenére ő sem lehetett mentes a mechanisztikus hibáktól. A hamis analogikus következtetések iskolapéldájaként szokták emlegetni azt, hogy *Darwin* a fajok fejlődésének magyarázatára is átvitte *Malthus* egyébként is helytelen, reakciós népesedési elméletét. A darwinizmus német vulgarizálói (Vogt, Büchner, Moloschott) pedig a „létért való küzdelem" biológiai tanát mint „örökérvényű társadalmi törvényt" emlegették műveikben. Teljesen figyelmen kívül hagyták azt, hogy az ember és az állat biológiai azonosságai mellett a biológiai különbözőségeken túlmenően lényeges különbözőségek vannak a társadalmi mozgásforma vonatkozásában is.

Darwin „A fajok eredeté"-ben az analogikus következtetési módszer tudatos alkalmazásával kifejtette gondolatait az egyéni és a törzsfejlődés közti kapcsolatról, s így valójában megelőzte az ún. *Müller—Haeckel*-féle biogenetikai alaptörvényt. E fontos biológiai törvényszerűség felismerése az analogikus módszer újabb diadalát jelentette. Az ontogenézis és a filogenézis analogikus kapcsolatának felismerése, a genetika tudományának ugrásszerű fejlesztésén kívül, igen termékenyítően hatott egyéb biológiai diszciplinák fejlődésére is. Így válhatott az embriológia is a genetikus kapcsolatok kutatásának egyik kulcstudományává. E tudományág tényei fontos bizonyító szerepet töltenek be. Jelentősége különösen ott nagy, ahol elegendő paleontológiai anyag hiá-

nyában az állatok törzsfájának fontos elágazásait éppen az egyedfejlődés bizonyítékai alapján vázolták fel.

A hamis analógiák elkerülése céljából feltétlenül figyelembe kell vennünk, hogy minden törvényszerűség csak meghatározott tartományon belül érvényes. E határok megismerése konkrét szaktudományi elemzést igényel. Így van ez a biogenetikai alaptörvény esetében is. *Szevercov* szovjet tudós ún. filembriogenézis-elméletében konkrét biológiai vizsgálódásokkal fejlesztette tovább a biogenetikai alaptörvényt, érvényességi körének megállapításához az onto- és a filogenetikus kapcsolatok konkrét szaktudományi elemzésével kerülve közelebb.

A biológia jó példát nyújt arra is, hogy az objektív analógia megállapítása még nem hatalmazhat fel egyértelmű analogikus következtetés levonására. Nézzünk erre egy konkrét példát. Két szerv hasonlósága lehet genetikus eredetű — ilyenkor homológiáról beszélünk —, de lehet az életmód azonosságából fakadó is — ilyenkor analógiáról van szó. Különösen az egyszerű felszíni alaki megegyezés (homomorfia) vezethető vissza a legtöbbször az azonos életmódhoz való alkalmazkodásra (konvergencia), de az ilyen analógiának vagy paralelizmusnak a genetikus jellegű homológiával való összekeverése vagy különböző voltuk figyelmen kívül hagyása végzetes hiba okozójává, helytelen, tudománytalan elméletek kiinduló pontjává válhat. Erre jó példát nyújt *Osborn* téves fejlődéstani felfogása is, amelyben a kiindulópont éppen a biológiai homológia és analógia fogalmának teljes összekeverése; más szavakkal: az azonosságon belül levő különbségek (vagy éppen ellentétek) fel nem ismerése.

Az ún. analóg hasonlóságokra *Lamarck* hívta fel a figyelmet először. Az analógiák *Linnét* is megtévesztették, s rendszerezésének gyenge pontjai részben onnan adódnak, hogy a külső megjelenés azonosságából helytelenül genetikus következtetést vont le. *Darwin* már világosan látta („A fajok eredeté"-ben részletesen ki is fejtette), hogy bár az analóg és az adaptív (alkalmazkodásból eredő) jellemvonások rendkívül fontosak az illető lény boldogulása szempontjából, majdnem teljesen értéktelenek a szisztematikus számára.

Sok jó példát lehetne felsorakoztatni a biológia legkülönbözőbb területeiről az ún. analógiák és homológiák felcserélésével, s az ebből származó téves nézetek kialakulásával kapcsolatban. A legtöbb példa kétségtelenül a rendszertan területéről említhető. Csupán egyet ragadjunk ki a sok közül. Régebben, bizonyos progresszív bélyegek alapján, a bordás meduzákat a csalánozókkal egy csoportba sorolták. E progresszív bélyegekről azonban kiderült, hogy nem genetikus eredetű homológiák, hanem csupán adaptív jellegű analógiák. E felismerés alapján a modern rendszerezők a bordás meduzákat (Ctenophra) önálló törzsként különítik el, mint specializált, oldal-irányban fejlődött állatokat.

A homológiák és az analógiák összekeverésén, s egyben a lényegtelen különbségek túlzott kiemelésén alapszik az emberi rasszokkal kapcsolatos helytelen, idealista, reakciós állásfoglalás is. Kétségtelen, hogy amiként analogikus következtetéseket vonhatunk le a dolgokban levő azonosságok alapján, ugyanígy következtetések hajthatók végre a dolgokban levő különbözőségek vagy ellentétek alapján is. De az azonosságok és a különbözőségek nem szakíthatók szét egymástól; az „analógiába állíthatóság" lehetőségét elsődlegesen a kettő aránya szabja meg. A rasszbeli különbségek az ember testalkatának nem elsődleges sajátosságaira vonatkoznak, nem homologikus, hanem analogi-

kus eredetűek, tehát nem genetikus, hanem alkalmazkodással kapcsolatos alapokra vezethetők vissza.

A „geológiai aktualizmus" megfelelője a biológiában is jelentős szerepet játszik. A *„biológiai aktualizmus"* törvényszerűségének hatása különösen ott számottevő, ahol az élőlények kialakulásával és fejlődésük kezdeti szakaszával foglalkozunk. Mivel azonban a környezeti körülmények földünkön az élet kialakulása szempontjából alapvetően mások voltak régen, mint ma, ezért a „biológiai aktualizmus" fogalma korántsem kezelhető mereven, mechanikusan, mert ez csak téves következtetésekhez vezet.

Az ősnemzés tana elvetését, azaz a „hasonló hasonlótól"-elv érvényességének felismerését mintegy inverz (deduktív jellegű) analogikus következtetés szülte. A dolgokban levő belső, mély azonosságok, rendszerint, genetikus kapcsolatra utalnak. E gondolatmenet inverzének fogható fel valójában az az okoskodás, hogy az egymással genetikus kapcsolatban levő egyedek, dolgok között viszont mély belső azonosságok vannak, tehát kissé szabadabban kifejezve: hasonlóak egymáshoz. Az abszolutizálás azonban mindkét irányban helytelen. Ma már nagyon jól tudjuk, hogy a dialektikusan értelmezett ősnemzés jól megfér a „hasonló hasonlótól"-elv mellett; sőt valójában mindkettőnek az a dialektikus egység ad értelmet, amelyben a valóságban összeolvadnak.

Minden mozgásforma tartalmazza a nála alacsonyabbrendűeket, sőt minden mozgásforma a nála alacsonyabbrendűből születik, annak talaján fejlődik. Ez, természetesen, a biológiai mozgásformára is vonatkozik. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy minden mozgásforma modellálható egyrészt nála alacsonyabb fokúakkal, másrészt az egyes mozgásformákat átfogó objektív elvek (matematika, mechanika) segítségével. A biológiai egyedek, folyamatok legismertebb modelljei kémiai (termodinamikai, kinematikai), fizikai, mechanikai jellegűek. Magasabbrendű idegélettani folyamatok modellálására alkalmasaknak bizonyultak az elektronikus-mechanikus modellek. Különösen jelentős az elektromechanikus modellálás a kibernetikában és az automatikában, továbbá a modern neurofiziológiában és a pszichológiában.

Mint az analógiákon alapuló mindennemű modellálás, úgy a biológiai is lehet új ismereteket fakasztó tudományos jellegű, de lehet didaktikai célzatú is. A kettő itt sem választható el mereven egymástól, hiszen az előbbi alkalmas didaktikai célok elérésére is, az utóbbiról pedig sokszor kiderülhet, hogy többet jelent egyszerű didaktikus módszernél, s így felhasználható új tudományos eredmények szerzésére is. Hiszen pl. az érzékszervek didaktikai célzatú mechanikai, fizikai, kémiai analógiái és az ezeken alapuló modellek alapul szolgálhatnak a tudományos megismerés, a gyakorlati alkalmazás (pl. a gyógyítás) számára is.

Az élet lényegének, kialakulásának és fejlődésének kérdése régóta foglalkoztatja a tudományt. A megismerésben a leprimitívebb nézetek, naiv hipotézisek idejétől napjainkig fontos szerepet játszott az analogikus következtetés is. Sok kísérlet történt az élet megismerésére az élő struktúrák mesterséges reprodukálása útján, az élő protoplazma modelljének elkészítésével. *Traube* pl. apró káliumferrocianid-kristályt helyezett rézszulfát vizes oldatába, s igen finom cupriferrocianid hártyából álló zacskószerű képződményt kapott. Ez az ozmotikus nyomás hatására kitágult (megfeszült), és, bizonyos fokig, reprodukálta az élő sejt növekedési jelenségeit. *Bütchli* az élő amőba mozgásait reprodukáló mesterséges modellt készített. Hamuzsír oldatában egy kis csepp olívaolajat dörzsölt szét, amely, a felületi feszültség változásai miatt, az amőbá-

hoz hasonlóan pseudopodiumokat (állábakat) bocsátott ki, mozgásokat végzett, sőt bekebelezett bizonyos kemény részecskéket, mint ahogyan az amőba megragadja apró táplálékát. A sejtek mozgását, táplálkozását és osztódását reprodukáló hasonló amőbamodelleket szerkesztett *Rhumbler* és több más kutató is.

Mindezeknek a modelleknek csak abban az esetben volt némi tudományos jelentőségük, ha az általuk reprodukált jelenségek ugyanazokon a fiziko-kémiai alapokon nyugodtak, mint amelyek e jelenségeket az élő sejtben is előidézték. Ebben az esetben a modell lehetővé tette az adott jelenség részletes tanulmányozását, kevésbé bonyolult viszonyok között, mint amilyenek a protoplazmában uralkodnak. A hasonlóságok azonban sokkal felszínesebbek voltak annál, hogysem e modellek valóban az élő protoplazmát reprodukálták volna mesterségesen. Csupán néhány fiziko-kémiai (főleg kolloidikai) tulajdonság volt az, amelyben e modellek megegyeztek az élő sejtével. Bár a mesterséges struktúrák iránti érdeklődés gyorsan csökkent, egyes laboratóriumokban még hosszú ideig folytatták „az élet szintetizálására" törekvő kísérleteket a megfelelő modellek előállításával. Mivel e túlságosan felszínes, külsőleges analógiákból sokkal messzebbmenő következtetéseket vontak le, mint ahogyan az indokolt lett volna, ezért e mechanikus materialista tendenciák az élet keletkezése megismerésének mellékvágányát jelentették, és a materializmus vulgarizálására adtak alkalmat.

Már több alkalommal láthattuk, hogy egyes általanosabb jellegű törvényszerűségek analogikus kapcsolatokat létesítenek gyakran távol álló területek között is. A darwinizmus egyik fontos általános törvényszerűsége az élő természet evolúciós folyamatában végbemenő *természetes kiválasztódás*, amely nemcsak a fejlődés legkülönbözőbb fokán levő élőlények között létesít analogikus kapcsolatot, hanem érvényesnek mutatkozik a fehérjéket felépítő *aminosavak evolúciójára* is. Az itt megmutatkozó természetes kiválasztódás magyarázza meg, hogy az állatokból és a növényekből izolálható fehérjék megszámlálhatatlan sokasága csupán néhány aminosavból tevődik össze. Nyilvánvaló, hogy a fehérjék képződésének folyamatában az élethez szükséges aminosavak szigorú kiválasztódása ment végbe, amelynek során a fehérjék aminosavösszetétele standardizálódott.

Természetesen vannak más, hasonlóan általános — vagy még általánosabb — fogalmak, illetve törvényszerűségek is, amelyek alkalmat adnak analógiákra, sokszor távolálló területek között is, mint pl. a növekedés, fejlődés, ingerlékenység, szaporodás; de egyben alkalmat adnak helytelen vulgarizálásokra is, ha e fogalmakat nem pontosan értelmezzük, vagy ha az analógiákat az érvényességi körükön túlra is kiterjesztjük. Hiszen ha csak pl. az ingerlékenység fogalmát vizsgáljuk meg ebben a vonatkozásban, mindjárt megállapíthatjuk, hogy „behatásra meghatározott módon reagálni" a fényérzékeny szervetlen anyag is, sőt, valójában, minden élettelen dolog képes. Az ingerlékenységet nem foghatjuk fel olyan tulajdonságként, amelyhez *hasonló* az élőkön kívül nem létezik. *A visszatükrözést* élettelen testeken is megfigyelhetjük, a növények és az állatok ingerlékenysége azonban ennél jóval szövevényesebb, más jellegű sajátosság. Mindenekelőtt: az élettelen anyagokat a külső hatóerők legtöbbnyire rombolják, alakjukat vagy szerkezetüket véglegesen megváltoztatják. Az élőlények ingerlékenysége ezzel szemben éppen a változatlanságot, vagy, apróbb módosulások árán, fennmaradásukat biztosítja. De, ezen túlmenően, a mikroorganizmusok, a növények, az állatok és az ember

ingerműködéseinek több olyan együtt előforduló ismérve van, amely feljogosít bennünket arra, hogy az ingerlékenységet — az általános visszatükrözési képességen belül — határozottan elkülönítsük.

Ez az ingerlékenységgel kapcsolatos példa csupán mintegy illusztrációja annak a már többször emlegetett fontos „szabály"-nak, hogy az azonosságok és a különbözőségek, s ezek nyomán az analogikus kapcsolatok, majd az ezeken alapuló analogikus következtetések problémája elsősorban nem filozófiai, hanem szaktudományi kérdés. A szaktudomány művelője jogosult dönteni tudományának művelése során az azonosságok érvényességi körét, jelentőségét, a különbözőségekhez való viszonyát illetően. Anélkül, hogy a legcsekélyebb mértékben is kétségbe vonnánk a filozófusok felelősségét a hamis analógiák, illetve a hamis analogikus következtetések tekintetében, meg kell állapítanunk, hogy az e téren elkövetett legtöbb hiba nem a filozófust, hanem éppen a szaktudomány művelőjét terheli. De mind a filozófus, mind a szaktudós sokat tehet annak érdekében, hogy a tévedések minél jobban elkerülhetők legyenek. A jó eredmény elsősorban egymás tudományának minél alaposabb tanulmányozásával és a közös területeken való együttműködéssel érhető el.

Arról is volt már szó más tudományokkal kapcsolatban, hogy az analogikus következtetés egyre szorosabb kapcsolatba kerül a kísérlettel, sőt általában a gyakorlattal. Sok egyre több olyan kísérlet van, amelyre éppen analogikus következtetések helyességének ellenőrzése vagy alátámasztása céljából kerül sor. Fajközi hibridek, sőt olykor génuszközi hibridek mesterséges létrehozásával sok olyan kérdésre lehetett határozott feleletet adni, amelyet azelőtt analogikus következtetések már sejtések formájában felvetettek.

A pszichológia

a biológiánál is kevésbé egzakt tudomány, és így természetes, hogy benne az analogikus következtetés jelentősége — a többi következtetési módokhoz viszonyítva — még nagyobb. *Szecsenov*, de még inkább *Pavlov* munkássága óta a pszichológia is egyre inkább természettudománnyá válik, s ezért indokolt, hogy, legalább röviden, megemlékezzünk az analogikus módszer szerepéről a lélektan tudományának fejlődésében.

Közvetlenül csak saját tudati jelenségeinket észlelhetjük. Embertársainkét már nem; csupán magatartásuk vagy elbeszélésük *hasonlósága* alapján következtethetünk arra, hogy mögötte a miénkhez hasonló szubjektív folyamatok, érzéklés, gondolkodás stb. zajlanak le. Hasonló megfontolásokat a primitív emberfajtákra már jóval kisebb határozottsággal tehetünk, bár abban nem kételkedhetünk, hogy még a legprimitívebb előembernek is voltak érzetei, képzetei, érzései, akarati folyamatai. Ugyanezt még a magasabbrendű emlősöknél is elfogadhatjuk. Az emberi magatartástól való eltérések azonban a madarak, hüllők és halak soraiban egyre fokozódnak, a gerinctelenekét tekintve pedig már teljes bizonytalanságba jutunk.

Az önmegfigyelés (introspekció) módszere hosszú ideig szinte kizárólagos volt a pszichológiában. Sokáig csupán e közvetett módszerrel voltak megközelíthetők az emberi és állati lélektani folyamatok. E módszer elsősorban az analógiákra épített, s így fő következtetési módszere szükségszerűen az analogikus következtetés volt.

A lélektani vizsgálódások e kezdeti időszakában rendkívül sok — ma már túlhaladott — szubjektív jellegű megállapítás látott napvilágot. E szubjektivitás volt a fő oka annak is, hogy kezdetben igen sok lélektani irányzat

vetélkedett egymással. Az állatlélektanban még fokozottabb volt a különféle irányzatok elburjánzása, amiben a szubjektív állásfoglalás mellett az is közrejátszott, hogy e tudományág művelői számára még több nehézséget jelentett az analógiák tárgyilagos megítélése.

Az analógiák antropomorf értelmezése elsősorban, természetesen, az állatlélektanban jelentkezett. A XIX. század végéig általánosan úgy vélték, hogy az állatok magatartása az ember szellemi életét jellemző tulajdonságokból fakad. Ez volt a lelki életet élő növények, a gondolkodó egysejtűek és a logikus terveket készítő hangyák és méhek korszaka. Az antropomorf szemlélet bűvköréből az állatlélektan meglehetősen későn tudott kiszabadulni.

De ez a kiszabadulás korántsem jelentette azt, hogy már nem fordulna elő a lélektanban és az állatlélektanban antropomorfizmusból eredő tévedés. *Pavlov*, a kísérleti lélektan megalapítója, gyakran felhívta a figyelmet az antropomorf nézetek káros voltára, és megmutatta az utat az ellenük való harcra. A nyálmirigyekkel való kísérletezés indokolására pl. a következőket említi meg: „Az első időszakban az sem maradt jelentőség nélkül, hogy a nyálelválasztás megfigyeléseinek esetében sokkal kisebb mértékben kínálkoznak az antropomorf értelmezések, mint a mozgások megfigyelésénél." (I. P. Pavlov: Előadások a nagyagyféltekék működéséről. 1953. Akad. Kiadó, 21. o.) Kétségtelen, hogy a kutatás egyik legveszélyesebb kerékkötője ezen a területen is az antropomorf értelmezés, főként a „pszichologizálás" volt. Az, hogy *Pavlov* kutatásai végig a fiziológiai jelenségkörben maradtak, ezt a veszélyt nem kis mértékben csökkentette, de teljesen nem hárította el.

Miközben *Pavlov* az antropomorf nézetek ellen harcolt, egy pillanatra sem felejtette el, hogy viszont a helyesen értelmezett analógiák milyen nagy segítséget jelentenek a tudományos megismerésben. Sőt ezt nemcsak jól tudta, hanem igen merész is volt az analógiák alkotó alkalmazásában. Sokan például teljesen érthetetlennek tartották, hogy a legmagasabbrendű emberi megnyilvánulásnak, a cselekvésnek a tanulmányozására miért kell olyan részletesen foglalkozni egy annyira jelentéktelen szervnek, mint a nyálmirigynek a működésével. *Pavlov* nem azért választotta kísérletei tárgyául a nyálreakciót, mert a magasabb idegműködés legtipikusabb megnyilvánulásának tartotta, hanem azért, mert az ezzel *analóg törvényszerűségek* legmegfelelőbb lelőhelyét látta benne. Elgondolásai helyességét azóta bőségesen igazolta a gyakorlat.

Valójában, *Pavlov* tisztázta elsőnek, materialista alapon és dialektikus módon, a lelki jelenség — mint magasabb idegműködés — fogalmát, felismerve azt a szoros *analogikus kapcsolatot*, amely *a fiziológiát* és a *pszichológiát* köti össze.

A magasabbrendű idegműködés és a lelki jelenség azonosságának felismerése egyre lényegibb analogikus kapcsolatok feltárását tette lehetővé. De az azonosítás mechanikus értelmezésével itt sem juthatunk előre. A konkrét szaktudományi kutatás van hivatva eldönteni az azonosság határait, viszonyát a különbözőségekhez, s így valójában utat mutatni az analogikus következtetések területén is.

Az analógiák tükröződnek valamelyest a *terminológiában* is. Felesleges lenne itt most a példák hosszú sorát felsorakoztatni ennek illusztrálására, annál is inkább, mivel a szóhasználat azonosságából a dolgok közti azonosságra következtetni a legdurvább logikai hibák közé tartozik, s szinte csábít hamis analogikus következtetésekre. Az „indukció" fizikai fogalma, szükségszerűen megváltozott tartalommal, felbukkant előbb biológiai, majd pszichológiai

fogalomként is. E fogalmak közti sokoldalú és nagyfokú különbözőségek mellett észre kell vennünk az azonosságot is, amely lehetőséget ad bizonyos — bár meglehetősen korlátozott érvényű — analogikus következtetésekre. (Bizonyára tanulságos lenne a pszichológiai indukció, a negatív indukció s a kettő egységét jelentő kölcsönös indukció párhuzamba állítása biológiai, kémiai és fizikai megfelelőivel!)

Bár eleve nem tartható helytelennek a pszichológiai tényanyagnak a fiziológiai kutatásban való felhasználása, *Pavlov* azonban — ismerve e módszer buktatóit — óva intett ettől az eljárástól. „A pszichológia — írta (Pavlov: Vál. Művei, 1953. Akad. Kiadó, 318. o.) — mint a fiziológia szövetségese nem vált be."Hiszen a pszichológia jóval kevésbé fejlett és egzakt, mint a fiziológia. Más tudományok viszonylatában is az a helyzet, hogy általában a fejlettebb (alacsonyabb mozgásformát tárgyaló) tudomány segíti elő termékeny analógiáival a kevésbé fejlett tudományt. Bár éppen az analogikus kapcsolatok kölcsönösségéből következően — a fordított helyzet is indokolt, s a gyakorlatban (pl. bionikában) néha elő is fordul. (De ügyelni kell arra, hogy ilyenkor nagyobb a hamis analogikus következtetések veszélye!)

Jellegzetesen modern komplex tudomány

a k i b e r n e t i k a,

amelynek kialakításában a legkülönfélébb természettudományok és műszaki tudományok vettek részt.

Sok tudomány fejlődésének elemzése során tapasztalhattuk, hogy az analogikus következtetés elsősorban hamis analógiák révén mutatkozott be. Ez is indokolja, hogy az analogikus következtetéssel foglalkozó filozófiai munkák szinte nagyobb teret engednek a hamis analógiákkal való foglalkozásnak, mint e következtetési mód pozitív szerepe, kutatást megtermékenyítő hatása bemutatásának.

Bár a kibernetika kialakulása csupán néhány esztendővel ezelőtt történt, tehát rendkívül fiatal tudomány, mégis ennek kezdeti időszakára is jellemzőnek mondható a hamis analogikus következtetés: részben tévedés formájában, másrészt azonban csalárd szándékkal, idealista politikai és filozófiai meggondolások alapján.

A kibernetikai kutatások formális elődei a XVII. és XVIII. század „állatautomatái" és „embergépei". Ezek szerkesztői — a mechanisztikus fiziológia tanítása alapján — úgy vélték, hogy az élő szervezet minden működése visszavezethető mechanikai mozgásra, tehát a teljes emberi vagy állati organizmus helyettesíthető gépi mechanizmussal. E nézet a kor mechanisztikus szemléletének szükségszerű velejárója volt, s materialista alapja miatt a haladást szolgálta. Természetes, hogy az élőlény és a gép közötti analógiák abszolutizálása hamis analogikus következtetésekhez vezetett. Az akkor feltételezett analógiák egyébként is túlságosan felszínesek s, így, formálisak voltak. *Descartes* 1662-ben fogalmazta meg a reflex-elvet. Ehhez az első gondolatot azok a hidraulikus szerkezetű szökőkutak által mozgatott figurák adták, amelyeket a francia királyi kertekben látott. *Lillie* salétromsavba mártott vashuzal-modelljével értelmezte az idegrost ingerületvezetését. *Pavlov* az egyszerű fix kapcsolású házi telefonnal hasonlította össze a feltétlen reflexet, míg az automata telefonban a feltételes reflex-kapcsolatoknak az analógiáját látta. De mindezekkel a látszólagos analógiákkal jóformán semmit sem lehetett kezdeni mindaddig, míg e kapcsolatok kvantitatív megközelítése keresztülvihetetlen maradt.

A matematika és az elektronika hatalmas iramú *fejlődése lehetővé tette* a kapcsolatok objektivitásának *mennyiségi megvizsgálását.* E kutatások egzaktabb alapot adtak az analógiába állítások számára. E vizsgálódások bebizonyították az előzetes sejtések helyességét. Világosan megmutatták, hogy, igenis, fennáll objektív analógia az élő szervezet és meghatározott gépi berendezések, pontosabban *a magasabbrendű idegműködés és az elektronikus számolóautomaták és logikai gépek* között. De az analógia nem tévesztendő össze az azonossággal. A mechanikus fiziológiai azonosítás ma már feltétlenül haladásellenes álláspontot jelent. Ezen idealista nézet lényege, hogy a magasabb, szervi folyamatokat az anyagmozgás alacsony formáira viszi át, elmossa a köztük levő határokat, és tagadja a létezés minőségileg különböző formáit. De e túlzó álláspont mellett helytelen az is, ha a gép és az agyvelő közti különbséget tisztán mennyiségi mozzanatokra vezetjük vissza. Hiszen ez tagadását jelenti a magasabb idegműködés azon törvényszerűségeinek, amelyek nem vihetők át alacsonyabb fokú fizikai, sőt mechanikai törvényszerűségekre.

A hamis analógiák és analogikus következtetések elleni küzdelem sehol — így a kibernetikában — sem jelentheti az objektív analogikus kapcsolatokról való lemondást, az analogikus következtetések pozitív szerepének egyszerű tagadását, figyelmen kívül hagyását. Ez mindenütt veszéllyel járna, nagymértékben lassítaná a tudományos megismerés folyamatát, a kibernetikai kutatásokat pedig éppenséggel lehetetlenné tenné, csírájában fojtaná meg, hiszen e tudomány alapvetően azokra az analógiákra épít, amelyek egymástól gyakran távol álló területek, mozgásformák között állanak fenn bizonyos kvantitatív vonatkozásokban, módszerét tekintve pedig főleg az analogikus következtetés eljárását alkalmazza, s benne a modellezés módszerének is alapvető jelentősége van. A kapcsolat másik oldala pedig az, hogy az analogikus következtetési módszer s az ezzel kapcsolatos modellezés új színekkel gazdagodott a kibernetikai kutatások révén.

N. Wiener amerikai matematikus, a kibernetika megalapítójának meghatározása szerint e tudományt mint az állatban és a gépben történő vezérlés és kommunikáció elméletét lehet figyelembe vennünk. A gépekben és a szervezetekben lejátszódó egynémely folyamat — így elsősorban az információ továbbításának — izomorf jellege vezetett arra a gondolatra, hogy a vezérlésnek és az ellenőrzésnek közös törvényei vannak. Eszerint a kibernetika úgy jelentkezik, mint a hírközlés, az ellenőrzés és a vezérlés néhány közös elvére vonatkozó fogalmak rendszere. A mai állapotnak talán a legjobban az felel meg, ha azt mondjuk, hogy *a kibernetika olyan komplex tudományág,* amely a természettudományok egzakt módszereivel, matematikai elemzéssel, *modellkísérletekkel,* mérésekkel stb. bonyolult rendszerek működési elveit tanulmányozza, anyagi megvalósulási formájuktól elvonatkoztatva. De bármelyik meghatározást vesszük is alapul, a lényeg mindenképpen az, hogy a kibernetika teljesen különböző természetű, de *mennyiségi viszonyaikban egymáshoz hasonló* és, ezért, egységesen értelmezhető folyamatokat tanulmányoz. Ilyen szempontból a kibernetika analógiába állítható a rezgéselmélettel, hiszen a rezgések természete is rendkívül sokféle lehet. Ismerünk mechanikai, akusztikai, termikus, optikai, elektromágneses, szeizmikus, csillagászati-fizikai, fiziológiai rezgéseket, sőt még a társadalomtudományok körében is megtalálhatók a rezgésszerű ingadozások. E rendkívül sokféle rezgések annyiból analógok egymással, hogy azonos bennük az alaptermészetüket elsődlegesen determináló matematikai konstrukció, azaz a rezgések esetében — mint sok más esetben is

— az analógiafunkciót a mennyiségi vonatkozások látják el, s így az analogikus következtetés helyességét a matematika biztosítja. A matematikai apparátus főként a valószínűségszámítást, a matematikai logikát, az információelméletet, a funkcionál-analízist és a függvénytant foglalja magában. Ezek közül az *információelméletet* kell külön kiemelnünk, mint *a kibernetika legfőbb matematikai alapját*. Ez a matematikai elmélet ma már matematikai diszciplina rangjára emelkedett, s ebben nem kis része van éppen a kibernetikai alkalmazhatóságának is.

Kétségtelen, hogy a biológiai mozgásforma nem vezethető vissza maradék nélkül alacsonyabb mozgásformákra, de azt sem szabad szem elől tévesztenünk, hogy a biológiai mozgásforma tartalmazza az alacsonyabb fokú mozgásformákat is. Az élő szervezet egyúttal fizikai test is. Minden biológiai jelenségben érvényesülnek fizikai törvényszerűségek, amelyeket egy külön tudomány, a biofizika tanulmányoz. Ebben a vonatkozásban a magasabbrendű idegműködés, sőt, ily módon, a pszichofiziológia jelenségei sem képeznek kivételt. Az ingerület ion-elmélete pl. már 1916 óta ismert. Bebizonyították, hogy az élő szövet ingerülete a szabad ionok meghatározott koncentrációváltozásakor jön létre. Egyébként is ma már ismeretes, hogy egyes fiziológiai, sőt pszichológiai folyamatokat kvantitatíve vizsgálhatunk, mégpedig ugyanazokkal a módszerekkel, amelyekkel az élettelen természet jelenségeit. Példaképpen legyen elegendő csupán az emlékezési folyamatra utalni, amelynek menete jól leírható matematikai úton. Az emlékezési vagy felejtési függvény görbéjének képe egzakt módon meghatározható, s az empirikus adatok igen jó megegyezést mutatnak az elméleti meggondolások alapján kiszámított értékekkel.

Régóta ismeretes, hogy az összes szövetekre, köztük az érzékszervek és a központi idegrendszer szöveteire is, egy közös ingertörvény érvényes, amely azt mondja ki, hogy az ideg az ingerre vagy maximális intenzitással felel, vagy egyáltalán nem reagál. Ez a *„minden vagy semmi" törvénye*, amelyről kiderült, hogy elektronikus gépek segítségével modellálható. E körülmény teremti meg *az analógiát az idegrendszeri folyamatok és az elektronikus gépek folyamatai között*. Mindkét esetben olyan hálózat mentén tovaterjedő elektromágneses jelenségekről van szó, amelyeknél két lehetséges változat közül csak egy valósulhat meg egyidejűen: zárás vagy nyitás, s így vagy impulzusmaximum vagy impulzushiány van jelen. Az idegrendszer alapelemét, a neuront az aktivitás két állapotával rendelkező jelfogónak tekinthetjük. Elektronikus számológépekkel, vagy az ezeken alapuló logikai (és ezen belül neuronális) automatákkal ez az „igen vagy nem"-állapot a kettős számrendszer segítségével és elektronikus elemek (relék, elektroncsövek, kristálydiódák, tranzisztorok stb.) felhasználásával modellálható.

Nyilvánvalóvá vált, hogy az élő szervezetben előfordulnak automatikus önszabályozások, amelyek analógok a technikában alkalmazott elektronikus automaták önszabályozó elveivel. E mechanizmus legfőbb mozzanata *„a negatív visszacsatolás elve"*, amelyet a technika már régóta alkalmaz, s amelyet a fiziológiai, sőt pszichofiziológiai folyamatokban is felfedeztek. (Így pl. a test hőmérsékletének, nedvességtartalmának, a vérnyomásnak a szabályozásában stb.). Ez a meglehetősen általános érvényűnek felismert törvényszerűség fontos *fizikai és matematikai jellegű analógiára* mutatott rá. E felismerésnek nagy része van abban, hogy ráterelődött a figyelem a neuronok „kapcsolástechnikájának" anatómiai, neurofiziológiai és egyéb módszerekkel történő vizsgálatára, hiszen az elektromechanikus gépekkel való analógia nem csupán

felszínes, formális jellegűnek mutatkozott, hanem olyannak, amely alapot szolgálhat az organikus felépítés megismerésében.

Az agy és az elektronikus berendezés közti analógia valójában ott kezdődik, hogy mind az agy, mind a gép bizonyos híreket, információkat kap kívülről, s ezeket feldolgozza A gépben elektronikus-mechanikus elemek (elektroncsövek, relék stb.) az agyban idegsejtek (neuronok) vannak egymással összeköttetésben. A gép-elemek (elektroncsövek) jelfogóként működhetnek, és áramot vezető vagy nem vezető állapotban lehetnek, míg az idegsejt az ingerület vagy a gátlás állapotában van. A gép működésére az áramimpulzusok, az agy működésére pedig az idegimpulzusok a jellemzőek.

E sokoldalú, de egymással összefüggésben levő mozzanatokra vonatkozó analogikus kapcsolat — amint már erről volt szó más vonatkozásban — nem felszínes és nem véletlen; az elektronikus számológépek és a logikai automaták, felépítésüket és a bennük lejátszódó folyamatok struktúráját tekintve, bizonyos fokig az idegrendszer és az idegfolyamatok fizikai analógjai, s így: modelljei.

Mivel az analógia kiindulási alapja éppen az információfeldolgozás, kétségtelen, hogy az analógiafunkció betöltésében a legfőbb feladat az információelméletre hárul. De ezen belül is rendkívül sokoldalú speciális analógia mutatható ki nemcsak az elektronikus gépek és az élő szervezet között, hanem más tudományterületekkel (pl. a termodinamikával) kapcsolatban is.

E speciális analógiák legjellemzőbbje az az analógia, amely a termodinamikából ismert *entrópia és az információmennyiség* között fennáll. Ha egy közlemény „P" egyformán valószínű közlemény egyike, akkor az általa képviselt információmennyiség fizikai egységekben:

$$I = -K \cdot \log P$$

Lehetővé vált az információmennyiségnek a termodinamikai entrópiával való kapcsolatba hozása, s a köztük levő analógia megállapítása.

Egy makroszisztéma entrópiája annak valószínűségi értéke, hogy a rendszer az adott állapotban marad. Egy rendszer „S" entrópiája egyenlő a „W" termodinamikai valószínűség logaritmusának és a „K" Boltzmann-állandónak a szorzatával:

$$S = K \cdot \log W$$

Tehát az információmennyiségnek és az entrópia matematikai és fizikai értelmezésének az összehasonlításából észrevehető, hogy a negatív információmennyiség és az entrópia, vagy ha úgy tetszik: a negatív entrópia (negentrópia) és az információmennyiség között teljes analógia van. Az információ — ha a továbbítás folyamán esetleges zavarok jelentkeznek — csakis csökkenhet, de nem növekedhet, éppúgy, mint a végső makroszisztéma negentrópiája.

Az információmennyiség — egzakt matematikai alapon nyugvó, szerencsésen sikerült definíciója miatt — haszonnal alkalmazható a fizika más területein is. Sőt, a fizikai feladatokon és az elektronikus számoló- és logikai automaták technikai problémáin túl, az emberi idegtevékenység egyes megnyilvánulásait is mint információátviteli problémákat tárgyalhatjuk, ahol az információmennyiség és a negentrópia analógiájának ugyancsak fontos szerepe van.

Napjaink tudományos életét figyelve megállapíthatjuk, hogy az analogikus módszer legmagasabb fejlettségi fokát, jelenleg éppen a kibernetikában éri el, amelynek legfőbb összetevői, kétségtelenül, az egzakt matematikai alap, az elektromechanikus modellálhatóság és az analogikus kapcsolat nagy

területet átölelő jellege, azaz nagyfokú komplexitása. A kibernetikai alkalmazhatóság egyúttal arra is rávilágított, hogy az analogikus következtetési és megismerési folyamat egészében jóval nagyobb mérvű, mint ahogyan azt eddig gondolták. A kibernetika hívta fel újólag a filozófia figyelmét az analogikus módszerre, igényt támasztva az analógiával és a modellezéssel kapcsolatos régi fogalmak felülvizsgálására, új, egyre egzaktabb fogalmak definiálására, sőt: az analogikus következtetési eljárás teljes dialektikus materialista jellegű felfogásának kialakítására.

Kétségtelen, hogy a modellezési módszer soha nem látott fontos szerephez jutott a modern tudományos kutatásban, de ebben is kiemelkedő sikerekről és újszerű alkalmazási lehetőségekről számolhat be a kibernetika, amelyben e módszer nemcsak az alkalmazott módszerek egyike, hanem egyenesen alapvető, sőt éltető eleme a kutatásnak.

Nézzünk egy példát, vegyük az emlékezés problémáját. Szokták mondani, hogy a digitális számológép és a logikai automata is „emlékezik", „memóriája van". Valóban, kétségtelen, hogy az elektronikus számológép, a maga módján, képes az „emlékezés" alapvető (de egyben primitív) mozzanatának modellálására. Tehát vigyázzunk: nem arról van szó, hogy az emlékezés bonyolult fiziológiai és pszichológiai folyamatait visszavezethetjük tisztán elektromechanikai folyamatokra, hanem csupán arról, hogy e bonyolult folyamat egészéből annak szinte legprimitívebb és legmechanikusabb elemeit kiragadjuk, s elektromechanikusan „utánozzuk", azaz modelláljuk. Az „utánozni" kifejezés nem abban a mechanisztikus jellegű értelmezésben szerepel, hogy az utánzat feltélenül csak tökéletlenebb lehet az eredetinél, hanem dialektikusan, s így figyelembe kell venni a viszonylagosságát is, azt, hogy az „utánzat" — miként a modern tudomány és technika számos példáját adta — *bizonyos vonatkozásban* tökéletesebb lehet az eredetinél (pl. a műanyagok).

Az „emlékezés" gépi modellálása a digitális számológépekben és a logikai automatákban sokféle technikai megoldás alapján történhet. Az ismertebbek: a kondenzátoros megoldás billenőelemekkel, elektroncsövekkel, a mágneses módszerek közül a ferritelemes memória-egység és az elektroakusztikus művonal. Ha, a kondenzátoros megoldás esetén, az elemi kondenzátorok katódsugárcső ernyőjéhez kötöttek, akkor a tárolt töltések viszonylag gyors elszivárgása miatt az emberi felejtés folyamatával analóg jelenség lép fel. Ilyen esetben szokták alkalmazni a töltésregenerálás technikai módszerét, ami, egy kis erőszakolással, analógiába állítható a tanuláskor alkalmazott meg-megújuló bevésés (ismétlés) mozzanatával.

Mint egyéb esetekben, úgy itt — az emberi és gépi memória párhuzamba állításakor — sem elegendő csupán az analógia tényének megállapítása. Feltétlenül alaposan elemezni kell az analógia alapját adó azonosságokat, de egyben a különbözőségeket is, mert csak ezek tisztázásával lehetünk képesek tudományos analogikus következtetés levonására, s a megismerési folyamatban történő helyes felhasználására. E feladat elsősorban szaktudományi jellegű: a matematikus, az elektromérnök, a fiziológus és, gyakran, a pszichológus külön-külön, majd egymással összehangolt gondos elemző munkáját, kutatását igényli.

Természetesen így van ez egyéb mozzanatok modellálásával is. A „kibernetikai állatmodellek", a „tanuló-gépek", az „értelmes automaták", a legkülönfélébb logikai gépek és neuronális automaták, legnagyobbrészt a parciális modellálás módszerét alkalmazva, valamilyen fiziológiai vagy neurofiziológiai

(pszichológiai) folyamatot modellálnak. Így modellálhatók a neuron ingerelhetőségi alaptulajdonságai (mint pl. a „minden vagy semmi" elv, s így az ingerület és a gátlás), az automatikus önszabályozás, az ingerelhetőség, az érzékelés (pl. a tapintó érzékelés, a hasonlóság érzékelése stb.), az emlékezés és a felejtés, az összehasonlítás — és a döntés — (a különböző lehetőségek közötti választás mozzanata), a feltétlen és feltételes reflex, az alkalmazkodás, a figyelem, a megszokás általi kifáradás (akkomodáció), a tapasztalat szerepe (a siker és a sikertelenség instrumentálása), a tanulás, a fototropizmus, a termotropizmus (és egyéb tropizmusok), a különféle koordinált akaratlagos mozgások, a vizuális alakfelismerés, bizonyos logikai műveletek (ítéletkalkulus, függvénykalkulus stb.), egyes speciális idegrendszeri sajátosságok és rendellenességek (pl. izgalom, idegesség), az önreprodukálás (egyelőre még csak „gondolati" modellálással), egyes társadalmi jelenségek alapvető (és legegyszerűbb) mennyiségi mozzanatai stb.

Jóformán minden természettudomány alkalmazza vizsgálódásaiban az intellektuális (matematikai, formális) modelleket. Így jól ismeretesek az atomfizika atommag- és atommodelljei, a kémia molekulamodelljei, a kémiai kötéselmélet egyéb formális modelljei. A műszaki tudományok az intellektuális modellek mellett mindinkább használják a materiális (mechanikai és fizikai, sőt kémiai) modelleket. A legismertebbek a sztatika, az aero- és a hidrodinamika, továbbá a kémiai technológia sokoldalú materiális modelljei, de ma már jóformán nincs is olyan műszaki tudomány, amelyben nem lennének megtalálhatók a legkülönfélébb materiális modellek. E modellekkel végzett kísérletek és mérések eredményei jól hasznosíthatók a bonyolult makrorendszerek folyamatainak megértésében, mennyiségi törvényszerűségeinek feltárásában.

Mindezek a természettudományi és műszaki jellegű modellek abban hasonlítanak egymáshoz, hogy energiaproblémák megoldását segítik elő. Ezzel szemben a kibernetika matematikai és materiális modelljei főleg információproblémákkal kapcsolatosak. E jellegből következik, hogy a matematikai analógiafunkciót ez utóbbiban éppen az információelmélet és a matematikai logika látja el. A kibernetika mutatott rá elsőnek és élesen arra, hogy a szűkebb értelemben vett analógiába állítás funkciója nem megelőzője a matematikai feldolgozásnak; a kettő nem választható szét egymástól, hanem egybe tartozik, csak együtt alkotja a tágabb — s egyúttal dialektikus — értelemben vett analogikus következtetési eljárást.

A másik fő különbség a kibernetikai és az egyéb modellek között, hogy az előbbiekben sokkal szembetűnőbben kapcsolódnak össze az egymástól távol álló mozgásformák s, így, tudományterületek.

A választott modell *helyességének* legfőbb *bizonyítéka* a kibernetikában is *a gyakorlattal való jó megegyezés.*

A kibernetika fő célkitűzése nem annyira az emberi kéz (energiaprobléma !), mint inkább az emberi agy (információprobléma !) „meghosszabbítása", s így a kibernetikai modellek elsősorban agyi folyamatokat instrumentálnak. Az alapvetőbb agyi funkciókon (emlékezés, választás, felejtés, tanulás, alkalmazkodás stb.) túl a második jelzőrendszer — a nyelv — alapelemei is modellálhatók kibernetikai automatákkal. E modellek gyakorlati alkalmazásának egyik kiemelkedő területe a gépi fordítás, de részben ide tartozik a gépi olvasás és írás is.

Mint egyéb tudományokban, a kibernetikában is első lépésként a parciális modellálás módszerét alkalmazták, és csak alapos tanulmányozás után kerül-

het sor egyre bonyolultabb, komplex modellek létesítésére. Az ún. modellállatok is legnagyobbrészt parciális modellek, amelyek egy-egy tulajdonság (pl. tapintó-érzékelés, fototropizmus stb.) instrumentálására szolgálnak, de készítenek ma már olyan kibernetikai modelleket is, amelyekkel egyidejűen többféle tulajdonság instrumentálható.

A kibernetika egyrészt a szociológiai folyamatok modellálásával, másrészt az elektronikus digitális számológépeknek szociológiai problémák matematikai statisztikai módszerekkel történő feldolgozásában való alkalmazásával a társadalomtudományokat is összekapcsolja a természet- és a műszaki tudományokkal.

Kétségtelen, hogy *a modern komplex tudományok* közül a kibernetika jelenti az analógiák, analogikus következtetések és az ezeken alapuló modellálás alkalmazásának legjelentősebb területét, nem szabad azonban elfelejtkeznünk arról, hogy az analogikus módszer jelentősége más modern komplex tudományokban is nagymérvű, s egyre növekvő tendenciát mutat. Ezeknek még csak a felsorolása is hosszadalmas lenne; nem is szólva részletes elemzésükről. Most csak egy-két jellemző területet ragadjunk ki, a rendszeresség és a teljesség minden igénye nélkül.

Elsőnek vegyük rövid elemzés alá

a bionika

tudományát, ezt a biológiai-gépészeti komplex tudományt, amely ugyan legnagyobbrészt a kibernetikából alakult ki, de egyrészt önálló tudományággá érlelődött, másrészt a kibernetikához való viszonya még nem is egészen tisztázódott.

E tudomány az *élővilág technikáját* igyekszik hasznosítani a *műszaki* (elsősorban gépészeti) *gyakorlatban.*

Jól tudjuk — e tanulmányban is többször volt szó róla —, hogy az élő szervezet „műszaki megoldásai" minden hasonlóság ellenére minőségileg alapvetően különböznek a gépi berendezésekben találhatóktól. Az élő szervezetben végbemenő mechanikai, termodinamikai, elektrodinamikai, mikrofizikai és kémiai folyamatok az anyagcsere, az érzékelés, a növekedés, a szaporodás folyamatainak alárendelt módon, a biológiai létezést biztosító korlátok között játszódnak le. Ez a tény azonban egyáltalán nem jelenti azt, hogy az élővilág fizikai törvényszerűségeit ne kellene a technika fejlesztése céljából is kutatnunk. Hiszen — amint már láttuk — a kibernetika számára is szükséges e törvényszerűségek behatóbb ismerete. A bionika lényegét is éppen e kölcsönhatások tanulmányozása jelenti.

Miként a kibernetikában, úgy itt, a bionikában is gyakran hajtunk végre az analogikus indukciók mellett deduktív jellegű analogikus következtetéseket. Az induktív-analógiáknál arról van szó, hogy két vagy több dologban tapasztalt konkrét — legtöbbnyire meglehetősen speciális — azonosságból (ill. analógiából) s az egyikben meglevő — leggyakrabban általánosabb — tulajdonságból arra következtetünk, hogy ez a másik (vagy többi) dolognak is sajátja. Deduktív-analógia esetén valamely dolog adott konkrét tulajdonságaiból s más dolgokkal közös általánosabb sajátságaiból (amely általánosabb sajátság gyakran a „kívánalom" megnyilvánulási formáját ölti) arra következtethetünk; hogy a konkrét tulajdonságok is megtalálhatók a másik (vagy többi) dologban. — Nézzük ezt egy bionikából vett példán!

Tudvalevő, hogy a tengeralattjárók sebességét nagyban csökkenti a rossz hatásfok, amely a vízben való mozgáskor keletkező nagyfokú örvényképződés következménye. Régóta ismeretes viszont az is, hogy a delfinféleségek milyen könnyedén és így nagy sebességgel haladnak a tengerben, pedig külső formájuk nem is felel meg az elmélet szerint minden tekintetben legtökéletesebb áramvonalnak. Hosszas vizsgálódások során rájöttek, hogy a delfinfélék testét nagyon vékony, rendkívül rugalmas, már a legkisebb nyomásnak engedő hártya borítja (tehát: ez a delfinek egyik konkrét tulajdonsága!). Amidőn a gyors úszás következtében a delfin testének felületén valahol kis örvény keletkezik, a hártya ott enged a nyomásnak, ezzel csillapítja az örvényt, s így ennek sebességcsökkentő hatása kevésbé érvényesülhet, vagyis a vízben való haladás jó hatásfokú lesz (tehát: ez a delfinek haladásának egyik általános tulajdonsága!). A nagy sebesség elérésének a legfőbb alapfeltétele a tengeralattjáróknál is a jó hatásfok (tehát: a tengeralattjáróknál az általánosabb tulajdonság *követelményként* jelentkezik!). Analogikusan (deduktív-analogikusan!) feltételezhető, következtethető, hogy ezt a delfinféleségeknél tapasztalt módon (tehát: azonos konkrét tulajdonság kialakításával!) érhetjük el. A bionikusok valóban meg is kísérelték ilyen örvénylést gátló burok elkészítését. Habgumiból számos kis oszlopocskát készítettek, majd úszó tárgyra egyenletes sűrűségben felerősítették őket. Az úszó tárgy, a gumioszlopocskák és a hártya közti kis üregeket viszkózus folyadékkal töltötték ki, s az egészet vékony gumihártyával vonták be. A próbacsatornában végzett mérések azt mutatták, hogy az ilyen bevonattal ellátott tárgyakat félakkora erőbefektetéssel kétszer akkora sebességgel lehet mozgatni. Azaz: helyesnek bizonyult az analogikus (deduktív-analogikus!) következtetés, mivel a kívánt általánosabb tulajdonságot (jó hatásfok) a víz alatt közlekedő gépeknél is el lehet érni azon konkrét tulajdonság kialakításával, amely a delfinféleségeknél meglevő „műszaki megoldás".

De számos egyéb bionikai példa említhető még. A szárazföldi, helyesebben a terepen való közlekedési technika fejlődésében igen hasznosnak bizonyult az élőlények helyváltoztatása mechanizmusának tanulmányozása. A lépegető exkavátor, a *Bernhard*-féle futószerkezet, az ún. ugró-gép műszaki megoldása az élőlények (pl. ember, versenyló, szöcske stb.) helyváltoztató mozgásából veszi az analógiát.

Több száz tonnás tehernek változatos terepen történő biztonságos szállítására szolgáló gépet is szerkesztettek a bionikusok, s ennek mintáját ugyancsak az állatvilágból vették, ugyanis részben a tengeri sün ambulakrál lábainak, részben pedig egyes pókféleségek „hidraulikus megoldásainak" összeházasítása révén szerkesztették meg a ma használatos legalkalmasabb gépi berendezést.

A korszerű reaktív hajtású közlekedési eszközök tervezői is sok segítséget kapnak a továbbfejlesztéshez a bionikából. A lábasfejűek (tintahal) egyik jellegzetes képviselőjének, a szépiának az altestében pl. van egy tasak, amely a vizet izomnyomással, egy, a hidrodinamikai törvényszerűségeknek megfelelően „kiképezett" fúvókán át lövelli ki, és mozgásirányának megváltoztatására ezt a fúvókát ugyanúgy állítja, mint ahogyan azt a korszerű légijárműveknél a konstruktőrök is megoldották. A reaktív hajtással közlekedő fésűs kagyló pl. a „terelőlapokkal" úgy kormányozza magát, mint ahogyan az számos mai repülőgépen is látható.

Az infravörös sugarak segítségével „tájékozódó" gépi berendezések biológiai analógiája megtalálható a poloska és a csörgőkígyó tájékozódásának „műszaki formájában".

A rája az elektromos tér változásait, a denevér pedig az ultrahangjelenségeket képes érzékelni, s így tájékozódik, s eme élőlények ezen „műszaki megoldásai" nem lehetnek közömbösek a mai bionikusok és kibernetikusok körében. Kétségtelen, hogy a modern infravörös-, radar- és sonartechnika máris sok mindent ellesett az élőlények „műszaki sajátosságai"-ból, s e „biotechnikai" analógiák nem hagyhatják közömbösen a bionikusokat, sőt a gépészeti és az elektronikai szakembereket sem.

De nemcsak az állatvilág szolgáltat analógiákat a műszaki kutatás számára, hanem a növényvilág is. Az előbbi inkább a dinamika, az utóbbi pedig a statika fejlesztéséhez járulhat hozzá.

A növényvilág „hidraulikája" hasznosnak bizonyult a műszaki hidraulika számára is. A fenyő vízszállító sejtjeinek (tracheida) oldalsó falán éppen olyan lencse alakú sejtfal-vastagodás fejlődik ki, mint amilyen üreg a *Junkers*-féle szelepben is található. A műszaki életben használt hidraulikus emelők elve is megtalálható egyes növényeknél. A hidatodák (mint pl. a Tropaelorum vagy a Caesalpinia) teljesen a hidraulikus emelő technikáját „használják".

A növényi „építkezések" sokkal gazdaságosabbak, mint az emberiek hiszen a növényi hánes rugalmassági és szakítási határa között csak kis különbség van. Az építészeti statika törvényszerűségei is megkapó módon valósulnak meg a növényvilágban (pl. a T-elv). A T-elven alapuló szkleridák a növények szilárdító szerkezetei, amelyek megvédik a leveleket lazán kitöltő asszimiláló és lélegző sejteket a külső erőhatásoktól.

A növények a nap fényenergiáját közvetlenül és jó hatásfokkal értékesítik. Nem közömbös, hogy miképpen valósul meg a növényvilágban a geometriai optika néhány törvénye, hiszen e megvalósulási lehetőségeket a napenergetikusok is hasznosíthatják, pl. jó hatásfokú napelemek készítésében.

A papillákkal (apró kis púpocskák) rendelkező növények fénykihasználása igen jó. Ezt veszik mintául ma már az elektronikus fénymérőknél, amikor a fényérzékeny réteg elé „rücskös" felületű üveglapot tesznek.

De a növények jó példát mutatnak a sugárzási energia kiváló hasznosítására is, s a bionikusok népes csoportja foglalkozik is azzal, hogy e folyamatok műszaki analógiáit kidolgozza.

A nagyobb sejtközösségek, szövetek létrejöttét lehetővé tevő sejtsugárzások természete ma még kevésbé ismert. De ha majd a bionikusok rájönnek a sejtsugárzások technikájának nyitjára, ez feltétlenül maga után vonja a molekuláris elektronika ugrásszerű fejlődését is.

Az élő szervezet elektromos tevékenységének műszaki modellálása is sok biztató gyakorlati eredménnyel kecsegtet. Elegendő legyen csupán az ún. „biokéz"-re utalni, amely az idegáramok technikai felhasználásának első komoly lépését jelenti.

Az analógia tekintetében a bionika különösen arra hívja fel a figyelmet, hogy nemcsak a meglevő analógiákra lehet építeni,s nemcsak ezek alapján végezhetünk analogikus következtetéseket, hanem mód van arra is, hogy *mesterségesen létesítsünk* számunkra kedvező analógiákat. Erre az ad lehetőséget, hogy egyrészt, miként egyéb törvényszerűségek, úgy az analogikus kapcsolatok törvényszerűségei is objektíve léteznek, másrészt pedig az, hogy ezek az ember számára megismerhetők és felhasználhatók. A mesterséges analogikus kapcsolatokra épülő modellek helyes működése egyben gyakorlati bizonyítéka is a mesterséges (feltételezett, előre megtervezett) analógia helyessé-

gének, objektivitásnak. Itt is találó az a megállapítás, hogy „. . . nem várhatunk a természettől könyöradományt . . .”

A bionika figyelmet érdemel abból a szempontból is, hogy benne *az antropomorfizmus pozitív formában s minőségileg teljesen új, magasabb fokon jelentkezik*, mint sok más tudomány esetében, különösen a fejlődés régebbi stádiumában. Általánosan érvényes tétel, hogy valamely mozgásformában az analógiafunkció betöltésére az alacsonyabb mozgásformák alkalmasak. Ennek ellenkezője rendszerint antropomorf torzításokra vezet. Erre gondolt *Pavlov* is, amidőn azt írta, hogy „a pszichológia mint a fiziológia szövetségese nem vált be”. Nem lehetünk azonban merevek e téren sem, mert ezzel a fejlődést lassítanánk. Hiszen az előrehaladás sohasem történik nyílegyenes úton, avagy túlságosan egysíkúan. A bionika — ez az új tudományág — éppen arra mutat rá, hogy valamely fejlettebb mozgásforma (pl. biológiai) is szolgáltathat analógiákat, s így modelleket alacsonyabb mozgásforma (pl. mechanika, fizika) és az ezt hasznosító tudományág (pl. gépészeti és egyéb műszaki tudományok) számára. Természetes, hogy a tévedés veszélye itt még fokozottabb, mint — a tipikusnak vehető — ellenkező esetben, de a helyes filozófiai alappal felvértezett szaktudomány meg tudja találni a lehetőséget arra, hogy ezek az analógiák elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt a fejlődést segítsék elő, és ne a rossz emlékű, hamis, antropocentrikus analógiák s idealista nézetek útvesztőjébe vezessenek.

Rendkívül sajátos és az előzőektől sok vonásban elütő típusú az analógiának és a modellezésnek

a farmakopszichológia

határtudományában megmutatkozó alkalmazása.

Ismeretes, hogy hallucinogén (révületkeltő) anyagokkal (meszkalin, lizergsavas dietilamid, különféle triptaminszármazékok) időleges elváltozásokat, mesterséges tudatzavarokat, ún. pszichózisokat lehet előidézni az egészséges ember lelki életében.

A német *Kraepelin* több mint 50 évvel ezelőtt írta le először azt a kívánalmat, hogy alkalmas vegyi anyagok, idegmérgek bevételével időleges mesterséges elmezavarokat, a tudatzavar, a pszichózis modelljét lehetne előidézni, s mód nyílnék a valódi elmezavarok lefolyásának néhány órai időtartamra összesűrített tanulmányozására.

Ötlete csak évtizedek múlva valósult meg, amikor *Beringer* német klinikus terjedelmes könyvet írt azokról a híres kísérletekről, amelyeknek során Közép-Amerika peyotl-kaktuszának hatóanyagát, a meszkalin nevű alkaloidot fecskendezte kísérleti célból emberbe. A mesterséges tudatzavarok kutatása ugrásszerűen fejlődött tovább *A. Hoffmann* svájci vegyész kísérletei és felfedezése kapcsán, amelynek során a tudomány megismerte a lizergsavas dietilamid nevű hallucinogén anyagot, amely igen alkalmasnak mutatkozott modell-pszichózis létrehozására. De azóta is egyre több hasonló hatású anyag válik ismertté és kerül alkalmazásra pszichózis-modell-önkísérletek végrehajtásában.

Kétségtelen, hogy még nem eléggé tisztázódott a hasadásos elmezavar és a kísérleti pszichózisok, a hallucinogén anyagokkal kiváltott modell-kísérletekkel előidézett pszichikus állapotok közti analógia mértéke, de már az eddigi farmakopszichológiai eredmények is azt mutatják, hogy a pszichológusok, pszichopatológusok, elmegyógyászok és farmakológusok jól használhatják a pszichózismodellek kísérleti és önkísérleti eredményeit.

A pszichikus és a pszichopatologikus *folyamatok modellezhetőségéből* kézenfekvően adódik az analogikus következtetés, hogy a valóságos hallucinációkat, tudatzavarokat és különféle elmebetegségeket is azonos vagy hasonló vegyi anyagok (toxinok) idézik vagy — egyéb alapfeltételek fennállása esetén — segítik elő. A modellezhetőség nyilvánvalóvá teszi az analogikus kapcsolatot, amelynek konkrét szaktudományi vizsgálata nagyban előreviszi a különféle elmebetegségek gyógyításának ügyét.

E farmakopszichológiai analogikus kapcsolatban az analógiafunkciót nem a matematika látja el, amint azt a kibernetika esetében tapasztalhattuk, hanem itt kémiai és biokémiai jellegű alapfolyamatokról van szó, amelyek segítségével a természetben „magától" végbemenő folyamatok mesterségesen is előidézhetőkké válnak. Végeredményben hasonló jellegű folyamatok ezek, mint amilyeneket az immunológia már évtizedek óta folytat a különféle oltásokkal a megelőző orvostudomány célkitűzései érdekében.

A pszichózismodell létrehozása a modellezésnek olyan esete, amidőn nem törekedhetünk a valósággal teljesen azonos helyzet kialakítására, valódi tudathasadásos folyamat létrehozására, hanem ennek csupán időleges, enyhe lefolyású kiváltására, mégpedig oly módon, hogy közben a belső és a külső változások elemezhetők legyenek. Mivel a gyakorlatban a pszichózismodellezést rendszerint az önkísérletezés módszerével kötik össze, ezért az is feltétlenül szükséges, hogy a mérgezett állapot ne okozzon eszméletvesztést, a kísérleti személy őrizze meg kapcsolatát a valósággal, önmegfigyelési készsége megmaradjon.

Már volt szó arról, hogy az analogikus következtetés klasszikus példájaként szokták emlegetni az egyes bolygókon való élet lehetőségének tudományos vizsgálatát. E kérdés egyik oldalával, a bolygókon lehetséges növényvilág problémáival foglalkozó modern határtudomány

a z a s z t r o b o t a n i k a,

amely — természetéből következően — jelenlegi stádiumában ugyancsak nagymértékben alkalmazza az analógia és az analogikus következtetés módszerét.

A kiinduló alap az egyes égitestek körülményeinek (hőmérséklet, légkör, tenger stb.) összehasonlítása. Ebből fakadhat az első durva analogikus következtetés az élet (s ezen belül a növényvilág) lehetőségét illetően.

Az égitestek növényvilágának tanulmányozása a tudományok mai fejlettségi fokán elsősorban a színképelemzés módszerével történhet. Ha kiindulunk a klorofill földi laboratóriumi színképéből, és feltételezzük, hogy e színkép az egyes égitesteken is azonos vagy (meghatározott külső körülményekből következően) analóg, s ennek alapján az adott égitestet színképelemzésnek vetjük alá, ezzel mód nyílik analogikus következtetésre, amely új megismerésekhez vezet.

*

A természettudományok és a modern komplex tudományok területéről vett e néhány példa jóformán csak illusztráció akart lenni, s a gondolatébresztés célját szolgálta az analógiák és analogikus következtetések mai felhasználását illetően. E kissé leíró jellegű feldolgozásmód miatt fennáll a pozitivizmus veszélye, amely csak úgy kerülhető el, ha tovább megyünk, s a leírás konkrét tényei mögött észrevesszük az általános törvényszerűségeket. Meg kell lát-

nunk az analógiák és analogikus következtetések különböző típusait, fejlődésüket, észre kell vennünk e következtetési módon belül az indukció és a dedukció, illetve az analízis és a szintézis egységét, látnunk kell, hogy az analogikus módszer jellege megváltozott, szerepe megnövekedett, tekintélye megerősödött a tudományok fejlődése során. Bár jellege valószínűségi, ez azonban nem mond ellent annak, hogy egyre egzaktabbá válik, egyre jobban igényli a mennyiségi mozzanatok figyelembevételét, s e mozzanatok tudományos feldolgozására egyre inkább igényli a matematikai tudományok segítségét. Az analógia és az analogikus következtetés általános jellegét húzza alá az is, hogy egyes tudományokból rendszerint azonosságok és analógiák alapján válnak ki újabb tudományágak. Így vált ki pl. napjainkban a kémiából, a radioaktív anyagokkal való részletesebb foglalkozás alapján, a rádiókémia, vagy a különféle sugárzások kémiai hatását vizsgáló sugárhatáskémia, hogy csak e két példát említsük az igen sok közül. Amiként ezekben, úgy a felsorolni is hosszadalmas egyéb tudományágakban is analogikus kapcsolatok fogják össze az adott tudományágakhoz tartozó dolgokat, jelenségeket. De e tudományágakban ezeken — az egybetartozást determináló analogikus kapcsolatokon — túlmenően bőven fellelhetők egyéb analógiák is, és tág tere van bennük az analogikus következtetéseknek. Számba kell vennünk az analogikus módszer lényegével járó modellezés módszerének típusait, a modellezés fejlődését, elméleti és gyakorlati jelentőségét a különböző tudományterületeken, a modellezés és a bizonyítás egyre szorosabbá váló kapcsolatát.

Befejezés

Az analogikus következtetés fontosságát a marxizmus klasszikusai is felismerték. *Marx*, *Engels* és *Lenin* gyakran alkalmazták az analogikus következtetési módszert, filozófiai munkáikban általánosan is felhívták a figyelmet egyrészt a hamis analógiákra és analogikus következtetésekre, megmutatva az ellenük folytatandó harc módszereit, másrészt a tudományos megismerést előrevivő pozitív analógiákra, „analógiába állításokra", analogikus következtetésekre. A metafizikus szemlélet korában az analogikus következtetésnek szükségszerűen a sokféle hibája, mintegy negatív oldala került előtérbe. Ez egyrészt abból állott, hogy a figyelem főleg a hamis analógiákra és a hamis analogikus következtetésekre terelődött, másrészt pedig — ami nyilván az előzőkből is következik — azt jelentette, hogy a pozitív analogikus következtetéseket nem sokra becsülték, ezek tekintélye meglehetősen csekély volt. A metafizikus filozófiai alap nem is vértezhette fel kellőképpen a szaktudóst és a filozófust az egyébként is kevéssé egzakt s erősen valószínűségi jellegű analogikus következtetések tévedési lehetőségei ellen. Erre csak *a dialektikus materialista filozófiai alap* bizonyult alkalmasnak. *Marx*, *Engels* és *Lenin* ebben is nagyot alkottak. Megmutatták, hogyan kell materialista, tehát „talpára állított" módon bánni az analógiákkal, s miként kell őket dialektikusan értelmezni és alkalmazni. Megmutatták, miként kell e módszert más módszerekkel együtt alkalmazni a világ minél alaposabb megismerésére és céljaink érdekében történő megváltoztatására. Már ők is utaltak arra, hogy a tudománynak egyre inkább *a pozitív értelmű analogikus következtetéseket* kell alkalmaznia, de mindig éber figyelemmel kell őrködnie a hamis (sokszor egyenesen csalárd célzattal végrehajtott) analogikus következtetések elkerülése érdekében.

Az analogikus következtetés negatív oldala más dolog, mint a negatív analogikus következtetés. Az előbbi a hamis analogikus következtetéseket jelenti, az utóbbi pedig a különbözőségeken alapuló, s így tagadó jellegű következtetéseket. Miként a negatív ítéleteknek is óriási a tudományos jelentőségük, úgy az ilyen jellegű következtetések is fontos szerepet töltenek be a megismerési folyamatban.

Kétségtelen, hogy — mint minden téren — az analogikus módszer fejlődése terén is szép eredmények mutathatók ki a dialektikus materialista filozófia megjelenése óta, azt sem szabad azonban elfelejtenünk, hogy ezen a téren még mindig sok a nyitott kérdés, egyelőre megválaszolatlan probléma. A modern tudományokban való újszerű alkalmazások új igényeket támasztanak néhány alapfogalom precízebb meghatározására, viszonyok tisztázására, a modellezés ismeretelméleti problémájának megoldására, az analogikus következtetésekben meglevő dialektikus mozzanatok feltárására, a gyakorlattal és a bizonyíthatósággal kapcsolatos kérdések modern formájú felvetésére, az analógiák és az analogikus következtetések főbb filozófiai, világnézeti, logikai, ismeretelméleti, pedagógiai és szakdidaktikai kérdéseinek korszerű megválaszolására. A dialektikus materialista filozófia tisztában van azzal, hogy ezek megoldása érdekében a filozófiának szorosan együtt kell működnie a legkülönbözőbb szaktudományokkal, hiszen a konkrét analógiákat, a tudományágak természetét tükröző sajátos módon azok szolgáltatják. A modern tudományos élet követelményei szükségszerűen igénylik a *dialektikus materialista módon értelmezett analógiákat és analogikus következtetéseket*, amelyeket a mai tudós nem mint „egyedül üdvözítő" eljárásokat használ, hanem mint a megismerés egyik — kétségtelenül igen fontos — láncszemét, szoros kapcsolatban egyéb logikai módszerekkel. A megismerés teljes folyamatába kellő módon beágyazott analogikus következtetések igen sok szolgálatot tesznek az ember számára abban, hogy *a világot ne csak megismerje, hanem a saját céljai érdekében átalakítani és megváltoztatni is képes legyen.*

АНАЛОГИЯ В ПРИРОДЕ — АНАЛОГИЧЕСКОЕ УМОЗАКЛЮЧЕНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

Бона Эрвин

Выяснив философское содержание понятия об аналогии, автор подробно рассматривает значение аналогий в природе (в статье встречаются только ссылки на общественные отношения аналогий), и анализирует вопрос об объективности и общем характере аналогий.

Потом он разбирает вопрос о месте аналогического умозаключения в процессе научного познания. Аналогия и аналогическое умозаключение — это два различных дела. Аналогическое умозаключение является важным звеном познавательного процесса. Его роль должна быть рассмотрена в полном ходу развития познания.

В статье рассматриваются основные моменты, составляющие основу аналогии, подчеркивается решительная роль количественных моментов, причем особую оценку получает значение математики, которая, выполняя функцию аналогии, играет все более возрастающую роль в современном научном познании.

Автор статьи указывает на развитие аналогий и аналогических умозаключений, анализирует вопрос становления этих умозаключений все более экзактными. В этом весьма важное значение приобретает то обстоятельство, что все больше и больше математических дисциплин выполняют функцию аналогии.

Метод моделирования всегда тесно был связан с аналогическим умозаключением. И в этой области наблюдается значительное развитие.

Долго останавливается автор статьи на вопросе о роли аналогического умозаключения в отдельных естественных науках. Путем анализа примеров, взятых из механики, физики, атомной физики, астрономии, химии, геологии, биологии, психологии, кибернетики, бионики, фармако-психологии и астроботаники он выводит некоторые закономерности и указывает на многосторонность, развитие и значение умозаключений.

Неверные умозаключения приносили большой вред авторитету этого способа рассуждения. Однако, это не может служить причиной отказа от этого приема познавательной деятельности. Несомненно, и в настоящее время существует опасность неверных умозаключений. Предостерегаться от этого можно только на основе диалектического толкования аналогий и аналогических умозаключений. Механистические — метафизические взгляды могут привести и здесь к логическим противоречим и, следовательного, к неверным умозаключениям. Аналогии и аналогические умозаключения, понятые в духе диалектического материализма, могут способствовать тому, чтобы человек не только познавал, но и умел преобразовать мир в своих интересах.

ANALOGY IN NATURE — ANALOGICAL INDUCTION IN NATURAL SCIENCES

Ervin Bóna

After the philosophical explanation of the concept of analogy, the article makes a detailed study of the significance of analogies in nature (only with a mere reference to social relations), enlarging upon the question of the objectivity of analogies and that of their general character.

Then the article analyses the place of analogical induction in scientific cognition. Analogy and analogical induction are two different things. Analogical induction is an important link in the process of cognition, and its role must always be followed up in the whole course of the development of cognition.

The author reviews the principal moments constituting the basis for analogy, and lays a particular stress upon the deciding role of the quantitative moments, giving, in this way, a particular appreciation to the increasing significance of the role of mathematics with its analogy-function, in modern scientific cognition.

The article shows the development of analogies and analogical inductions, analysing how these inductions are becoming more and more exact in character. In this respect, an especially great significance is to be attached to the fact, that more and more mathematical disciplines are performing analogy-function.

There has always been a close connection between analogical induction and the method of modelling. In this respect, too, we are witnessing a considerable development.

The author of the article devotes considerable attention to the role of analogical induction in the different branches of natural sciences. Through the analysis of examples taken from the field of mechanics, physics, nuclear physics, astronomy, chemistry, geology, biology, psychology, kibernetics, bionics, pharmaco-psychology and astro-botany, he shows some of the rules as well as the many-sidedness, the development and the importance of this induction.

False analogical inductions have been detrimental to the prestige of this method of induction, but this circumstance cannot lead to our rejecting this method of cognition. Undoubtedly, the danger of false analogical inductions does exist even in our days, and avoiding them becomes only possible through the dialectical interpretation of analogies and analogical inductions. Here, too, the mechanistical-metaphysical aspect can lead to logical contradictions, and thus to false reasoning. The analogies and analogical inductions interpreted by the method of dialectical materialism, greatly help man not only to know the world, but also to be able to transform it in the interest of his own purposes.