A TUDOMÁNYOS MODELLEK ÉS A MODELL-MÓDSZER FOGALMÁRÓL

KOCSONDI ANDRÁS

I. A MODELLEZÉS ELTERJEDÉSÉNEK OKAI

A modellezés, bár maga a „modell" terminus csak a múlt század második felében nyerte el mai jelentését, a tudományok egyik legrégibb módszere. Már az ókori görög filozófusok a természet magyarázata, leírása során gyakran folyamodtak modellezéshez; az újkori természettudomány pedig nem egy zseniális eszméjét éppen a modell-módszer révén nyerte. Korunk tudományos megismerésében egyre jelentősebb szerepet játszanak a tudományos modellek, mind több tudományban alkalmazzák a modellezést. A modell-módszer széles körű elterjedése főként az utóbbi két évtizedben ment végbe.

Mivel magyarázható a modellezés egyre fokozódó térhódítása korunk tudományában? Sokan ezt a jelenséget pusztán a kibernetika kialakulásával és más tudományokba való behatolásával hozzák összefüggésbe. Kétségtelen, hogy a kibernetika, amelynek egyik alapvető módszere éppen a modellezés, s amelyben a modellek igen hatékony formáit dolgozták ki, jelentősen hozzájárult elterjedéséhez. Úgy véljük azonban, hogy e magyarázat egy sor kérdésre nem ad választ. Miért a modellezés a kibernetika egyik alapvető módszere? Mivel magyarázható magának a kibernetikának a behatolása és a kibernetikai módszerek, s köztük a kibernetikai modellezés alkalmazása egy sor, egymástól gyakran igen távoleső tudományban? S mivel függ össze e módszer széles körű elterjedése nem egy tudományban (pl. matematika, geometria, mechanika, fizika stb.) már a kibernetika megjelenése előtt? A modell-módszer egyre intenzívebb alkalmazása korunk tudományában, véleményünk szerint, részben a *tudományos megismerés mai szintjének sajátszerűségeivel*, a tudományok fejlődésének jelenlegi problémáival, s részben a *modellezés*nek mint megismerésikutatási módszernek a sajátosságaival, főként *univerzális jellegével* függ össze, vagyis azzal, hogy e módszer alkalmazható a megismerés legkülönbözőbb szakaszain egymástól esetleg lényegesen eltérő feladatok, funkciók ellátására.

A tudományos megismerés korunkban a valóság egyre újabb és újabb tartományaiba hatol be, a tudományok tárgya nagymértékben kiszélesedik. A tudományok tárgyának ez a megváltozása, *először* is, a valóság bonyolultabb jelenségeinek és folyamatainak tanulmányozását jelenti. A bonyolultabb folyamatok vizsgálata viszont megköveteli a már ismert, kevésbé bonyolult jelenségekre vonatkozó ismeretek alkalmazását; vagyis a komplex folyamatok elemzése az egyszerűbbekkel való összehasonlításukkal kezdődik. Az összehasonlítás eredményeként gyakran lehetőség adódik a komplex jelenség vagy folyamat egyszerűsített modelljének megalkotására. Továbbá, a kutatás folyamatában is a bonyolultabb jelenségeket egyszerűbb jelenségekre, illetve egyszerűbb komponenseikre igyekeznek visszavezetni. Általában a komplex folyamatok tanulmányozásának egyik jellemző vonása az egyszerűsítés. Ez az

egyszerűsítés gyakran modellalkotással valósul meg, minthogy a tudományos modellek általában egyszerűbbek a modellezett objektumnál. Az objektum modellje ez esetben az objektum kutatásának eszközeként szerepel, a bonyolult objektumot az egyszerűbb modellnek mint első hipotetikus leírásának, magyarázatának segítségével, illetve egyre komplexebb, az objektum egyre több vonatkozását leíró modellek építésével tanulmányozzák. Így, például, az atom (s ezen belül az atommag) szerkezetének megismerésében, a modern atomelmélet kialakulásában és fejlődésében igen jelentős szerepet játszottak a különböző, s az atom (és az atommag) felépítését egyre komplexebb, s ennélfogva egyre adekvátabb módon visszatükröző atommodellek (mint például, a Rutherford-, Bohr- stb. féle atommodellek).

Másodszor, a tudományok tárgyának kiszélesedésével a valóság olyan tartományaiba hatolnak be, ahol az objektum méretei (kiterjedése, időtartama, sebessége stb.) jelentősen eltérnek a szokásos emberi méretektől (például, mikrovilág, kozmikus folyamatok stb.), s ezért az objektum közvetlen megfigyelése nem lehetséges; továbbá, olyan anyagfajtákkal találkozunk, amelyek sem közvetlen, sem közvetett érzékelésére — legalábbis ismereteink és a kutatási technika jelenlegi szintjén — nincs mód. Az ilyen objektumok tanulmányozása során kiindulópontként szinte csak egy út kínálkozik, az adott objektum modellezése.

Harmadszor, a tudományos kísérletezés során is gyakran előfordulnak olyan szituációk, amelyekben nem lehetséges a megismerés objektumával való közvetlen kísérleti operálás, vagy az objektum méretei, vagy az objektum természete miatt (például, társadalmi jelenségek esetén), vagy a kísérleti beavatkozás oly mértékben megzavarná a vizsgált folyamatot, hogy a kapott ismeretek adekvátsága bizonytalanná válna. Ilyenkor a kutató a kísérletezés objektumának vizsgálata helyett egy vele analóg (természetes vagy mesterséges) objektum vizsgálatához folyamodik, hogy megismerve ezt az utóbbi objektumot (illetve ennek bizonyos oldalait, sajátosságait, törvényszerűségeit) információt nyerjen magáról a megismerés objektumáról. Tehát, ilyen esetekben is a megismerés objektumát modelljével helyettesítik, s a modell mint a kísérletezés sajátos eszköze lép fel.

Negyedszer, az objektív valóság újabb tartományaiba való behatolás során nemcsak a megismerés objektuma térhet el jelentősen az emberi természet (s ezen belül érzékszerveink) számára szokásos méretektől, hanem a kutatás feltételei is nagymértékben különbözhetnek az ember szokásos és az emberi lét számára elengedhetetlen feltételektől (például: súlytalanság, túl alacsony vagy magas hőmérséklet és nyomás stb.). Ilyen feltételek esetén a kutató szintén a modell-módszerhez folyamodhat, de az előző esetekkel ellentétben nem a megismerés objektumát, hanem a kutatás feltételeit modellezi, és mesterségesen létrehozott és ellenőrzött feltételek (modell) mellett vizsgálja meg ezeknek a kutatóra gyakorolt hatásait (például: az űrhajósok viselkedése centrifugában stb.). Ehhez hasonló szituáció áll elő akkor is, amikor a kutató azt vizsgálja, miként viselkedik az adott objektum (például: élő organizmus) különböző feltételek, illetve a környezet különböző változásai mellett. Ilyenkor szintén a feltételeket modellezi, de nem a kutatás, hanem az objektum (organizmus) természetes feltételeit. Ilyen jellegű modellezést gyakran alkalmaznak bonyolult dinamikus rendszerek viselkedésmódjának, funkcionális kapcsolatainak vizsgálatánál a fiziológiában, a pszichológiában és főként a kibernetikában.

Ötödször, a kutatási feltételek nemcsak jelentős mértékben különbözhetnek a

szokásos emberi létfeltételektől, hanem a tudományos kutatás még ismeretlen feltételei között lehetnek a kutatóra (s esetleg közvetve az emberiségre) káros tényezők, egészségére ártalmas hatások (például: atom-, űrkutatás stb.). Ilyen esetekben a kutatás megvalósításának egyik elsődleges feltétele s kezdeti célkitűzése ezeknek a hatásoknak a vizsgálata és megismerése: s ez csak úgy történhet, hogy magát a kutatót helyettesítik vele analóg modellel (valamilyen, például magasabbrendű, élőlénnyel), s e modell segítségével elemzik a kutatás természetes feltételeit és ezek hatásait.

Hatodszor, a kutatás tárgya lehet bizonyos esetekben reálisan (még) nem létező objektum (például: valamilyen megkonstruálandó berendezés, létesítmény stb.), illetve egy jelenleg létező jelenség vagy folyamat múltbeli vagy jövőbeni állapota (például: kozmikus folyamatok tanulmányozásánál, gazdasági tervezésnél stb.), továbbá, valamilyen megtörtént esemény. Az ilyen objektum, illetve a múltbeli vagy jövőbeli esemény, állapot vizsgálatának egyik leghatékonyabb módszere — a gondolati kísérlet mellett — anyagi vagy eszmei modelljének tanulmányozása. Ez a körülmény indokolja a modell-módszer nagyarányú alkalmazását a gyakorlati-termelési-technikai kutatásokban (pl. épületek, technikai berendezések, hajók, repülőgépek stb. makettjei, kicsinyített, méretarányos modelljei), s egyre szélesebb körű elterjedését a közgazdaságtani kutató- és tervezőmunkában (optimatizációs, döntési stb. modellek) különösen szocialista tervgazdálkodásban. Ezekben az esetekben (és nemcsak ezekben) a modell, többek közt, prognosztikus funkciót tölt be.

S végül, *hetedszer*, a megismerés tárgyának és feltételeinek bonyolultabbá válásával bizonyos gazdasági megfontolások is szükségessé teszik az objektumoknak, illetve feltételeinek modellezését, minthogy az objektumnál egyszerűbb modell vizsgálata viszonylag egyszerűbb (s ezért olcsóbb) kísérleti-kutatási eszközök és feltételek alkalmazását teszi lehetővé.

A fent említett esetekben a modellezés szükségessége elsősorban a kutatás anyagi-tárgyi oldalával, feltételeivel kapcsolatos; a modellek alkalmazását azonban indokolhatják bizonyos elméleti vagy a megismerés szubjektív oldalával összefüggő körülmények is. A modell-módszert igen gyakran alkalmazzák akkor, amikor (részben vagy egészben) hiányzik az objektumot leíró-magyarázó tudományos elmélet. A modell ilyenkor heurisztikus funkciót tölt be és az elmélet kidolgozásának egyik fontos eszköze, az empíriától a tudományos elmélethez vezető út egyik jelentős állomása, mivel a modellt magának az elméletnek a létrehozására (vagy funkcióinak ellátására) használják fel.

A tudományos modellek alkalmazása szükségessé válhat azonban a valóság adott tartományát visszatükröző elmélet megléte mellett is. A tudományos elméletekkel kapcsolatban a modellt felhasználhatják:

1. Az elmélet továbbfejlesztésére; az elmélet hiányos volta és továbbfejlesztésének szükségessége kifejeződhet például abban, hogy az objektumnak csak a minőségi oldalát tükrözi vissza, és hiányzik mennyiségi elemzése, vagy fordítva. „Az első esetben a modell lehetővé teszi az objektum mennyiségi karakterisztikájának meghatározását, a másodikban pedig lehetőség nyílik, egyfelől, az objektum minőségének megvilágítására, másfelől . . . magának kvantitatív elméletnek gazdagítására és igazolására." [4; 15—16][1]

[1] A szögletes zárójelbe tett számok közül az első az idézett mű sorszámára utal az Irodalomjegyzékben, a pontosvessző utáni számjegy(ek) pedig az oldalszámo(ka)t jelzi(k).

2. Két (vagy több) elméleti rendszer közötti összefüggés megteremtésére, esetleg egy tudomány néhány (vagy valamennyi) különálló fejezetének szintetizálására, egységes felépítésére, sőt egymástól távolálló tudományos elméletek közötti kapcsolat létrehozására (így például, a matematika fejlődésében jelentős helyet foglal el a halmazelmélet kialakulása, minthogy ez lehetővé tette a matematika különböző fejezetei közötti összefüggések egzakt megragadását, ezek egymásba való „lefordítását", ugyanis a halmazelméletben kiépíthetővé vált más matematikai diszciplínák modellje. A kibernetika térhódítása, a tudományok kibernetizálódása is, többek közt, azzal függ össze, hogy olyan funkcionális modelleket hoz létre, amelyek felhasználhatók a legkülönbözőbb, s egymástól távolálló tudományok által vizsgált dinamikus rendszerek viselkedésének leírására).

3. Egyes elméleti rendszerek közötti „információ-cserére", mivel az elméleti rendszereket összekapcsoló modell segítségével az egyik rendszer elemei közötti összefüggések átvihetők a másik rendszerbe (így például, a matematika valamely fejezetében elért eredmény halmazelméleti modellje közvetítésével transzformálható a matematika más fejezeteire is).

4. Egy elméleti rendszernek egy másik, ismertebb, egzaktabb módon felépített elmélet segítségével történő tanulmányozására [a fizikában már a XIX. század második felében széleskörűen felhasználták fejlettebb fejezeteinek (pl. mechanika, hidrodinamika stb.) eredményeit más, kevésbé kidolgozott fejezeteinek továbbfejlesztésére, illetve ezek tárgykörébe tartozó jelenségek tanulmányozására. J. Cl. Maxwell, például, arra törekedett, hogy kidolgozza az elektromágneses jelenségek egységes és ellentmondásmentes mechanikai modelljét].

5. Az elmélet logikai helyességének bizonyítására. Ha ugyanis egy logikailag még nem vagy nem eléggé igazolt elméletnek megadható a modellje egy másik, logikailag igazolt elméleti rendszerben, úgy az utóbbi logikai helyessége átháramlik az előbbire. (Így például F. Klein megalkotva a Bolyai—Lobacsevszkij-féle geometria modelljét az *euklideszi* geometriában, igazolta, hogy az előbbi nem kevésbé ellentmondásmentes, mint az utóbbi, ha ugyanis ellentmondások lépnének fel a nem-euklideszi geometria bizonyos axiómái és tételei között, úgy ellentmondások állnának fenn az euklideszi geometria megfelelő axiómái és tételei között is és viszont.)

A tudományos modellek jelentős szerepet játszhatnak az elmélettől a valósághoz vezető úton is, különösen absztrakt (például: logikai, matematikai) elméletek esetében. Az absztrakt elméleteket ugyanis gyakran nem lehet közvetlenül a valóságra vonatkoztatni, mivel maguk is többszörös elvonatkoztatás eredményei, absztrakciók absztrakciói. Hogy ez a valóságravonatkoztatás megvalósulhasson, létre kell hozni az elméletnél egyszerűbb és kevésbé absztrakt modelljét, amely már alkalmas a valóság adott jelenségkörének leírására. A modell, tehát, mint az absztrakt elmélet interpretációja jelentkezik. Hasonló a helyzet az absztrakt elméletek és a gyakorlat vonatkozásában is. Az előző okoknál fogva az absztrakt rendszerek közvetlen gyakorlati alkalmazása sem lehetséges minden esetben. Ilyenkor a tudományban kidolgozott absztrakt elméleti rendszerek (például: differenciálegyenlet-rendszerek) gyakorlati alkalmazása, többek közt, szintén az elméletnél egyszerűbb modellek segítségével valósulhat meg. Mivel a tudományos elmélet valóságra vonatkoztatásának és gyakorlati alkalmazásának egyik eszköze, a már említett funkciók mellett, betölthet kriteriális funkciót is.

A fentiekből látható, hogy a modellezés alkalmazása igen különböző tényezők következménye lehet, s ezért a modell a tudományos megismerés folyamatának különböző szakaszain jelentkezhet s különböző funkciókat tölthet be: közbenső láncszemként szerepelhet egyfelől egyes elméleti rendszerek között, másfelől az elmélet és a gyakorlat, az elmélet és a valóság között, mégpedig az utóbbi esetben felléphet mind a valóságtól az empírián keresztül az elmélethez, mind az elmélettől a valósághoz vezető úton. A kutatási folyamatban a modell egyrészt az objektum megismerésének eszközeként, másrészt helyettesetként lép fel, de bizonyos esetekben helyettesítheti az objektum (vagy a kutatás) feltételeit is, sőt magát a kutatót is; betölthet heurisztikus, prognosztikus, interpretációs, kriteriális funkciókat, magára vállalhatja az egyszerűsítés, összehasonlítás, bizonyítás, absztrahálás, idealizálás, hipotézis, tudományos elmélet (reális és gondolati), kísérlet, mérés, leírás stb. gnoszeológiai funkcióit; felhasználhatják gyakorlati-technikai, tudományos-kutatási és oktatási-demonstrációs feladatok elvégzésére. Mindez, egyrészt, mutatja a modellmódszer univerzális jellegét és indokolja széles körű elterjedését korunk tudományos megismerésében, másrészt szükségessé teszi, hogy a modellezést mint a (tudományos) megismerés univerzális módszerét gnoszeológiai kategóriaként fogjuk fel, s ennek megfelelő szinten (vagyis a filozófiai általánosítás szintjén) elemezzük gnoszeológiai funkcióit.

II. A MODELL FOGALMÁNAK NÉHÁNY ÉRTELMEZÉSE

A tudományos modellek említett gnoszeológiai funkcióinak analízise, a modellezés ismeretelméleti helyének és szerepének vizsgálata mindenekelőtt megköveteli fogalmuk és sajátosságaik pontos feltárását és meghatározását. E feladat elvégzését szükségessé teszi, többek közt, az a körülmény, hogy a modellezés — éppen széles körű elterjedése következtében — az utóbbi időben sokat vesztett egyértelműségéből és pontosságából, fogalma nagymértékben kiszélesedett és határozatlanná vált, gnoszeológiai specifikuma elmosódott. A modell fogalmát is a különböző szaktudományokban, sőt nem ritkán egy-egy tudományágon belül is különböző, egymástól lényegesen eltérő, vagy egymásnak ellentmondó értelemben használják, s így e fogalom is határtalanul szélessé, meghatározatlanná, többjelentésűvé[2] vált. A modell fogalmának sokértel-

[2] Ennek dokumentálására pusztán néhány — magyar nyelvű, ill. magyar nyelven is megjelent — műben szereplő jelentését említjük meg: külvilág képmása; tapasztalat; az a kép, amelyet az ember alkot a külvilágról; tudat, azaz társadalmilag módosított tapasztalattároló; a valóság bizonyos oldalainak és vonásainak tömény képe; képmás jellegű részstruktúra [lásd 40]; matematikai séma; a valóság tudatosan leegyszerűsített mintája, mely viszonylagos egyszerűségénél fogva lehetővé teszi, hogy a vizsgált jelenséget rajta tanulmányozzuk [43]; a valóságnak absztrakció útján egyszerűsített másolata, amelyen tanulmányozni lehet az egyes faktorok kigondolt változásainak „hatását" [30]; képmás; visszatükröződés; tudatosult cél; a pszichikus jelenségek lefolyásának a matematika nyelvére történő lefordítása [lásd 28]; valamely fizikai rendszer leképezése más fizikai rendszerben [32]; anyagi objektumok valamely rendszerének elemei közötti invariáns viszonyok izomorf leképezése az anyagi objektumok egy más rendszerének elemei közötti viszonyokra [37]; egy több vagy kevesebb összefüggésből álló egyenletrendszer [27]; képmás anyagi hordozója; minden olyan anyagi dolog (vagy jelenség), amely tartalmazza valamely eredeti dolog másolatát; anyagi tárgy, az objektív valóság része, amelynek létezése független az eredetijével való összevetéstől; pszichikum [44]; közbeeső láncszem az elméleti absztrakt gondolkodás és az objektív gyakorlati tevékenység

művé válása azzal függ össze, hogy a modell fogalmát vagy azonosítják *a)* az adott tudományágban alkalmazott konkrét formájával, típusával (például modellezés alatt csak anyagi, ill. csak eszmei modellek építésének és kutatásának folyamatát értve); *b)* egyik vagy másik — az adott szaktudományban alkalmazott gnoszeológiai funkciójával (modellnek tekintve, például a tudományok valamennyi heurisztikus eszközét); *c)* a tudományos megismerés azon formáival, eszközeivel és módszereivel, amelyek funkcióit a modell bizonyos esetekben magára vállalja (így azonosul, például, a valóság leírásával, a tények magyarázatával, a hipotézissel, a tudományos elmélettel, a matematikai apparátus interpretációjával stb.); *d)* valamely lényeges tulajdonságával (modellnek tekintve, például, a valóság valamennyi elméleti egyszerűsítését, az objektumok analogonjait, valamely elméleti rendszer izomorf leképezését, a tárgyak adekvát visszatükröződését stb.); vagy kiragadva a modellezés folyamatából nem a kutatás speciális eszközeként, hanem produktumaként analizálják (így lesz minden absztrakt elmélet, idealizált objektum, esetleg minden képmás végül is modell).

A tudományos modellezés lényegének és sajátosságainak pontos megragadása megkívánja a „modell" terminus néhány elterjedtebb jelentésének részletesebb elemzését.

1. A modell fogalmát, különösen a hétköznapi szóhasználatban, gyakran használják valamely tárgy *kicsinyített* (vagy esetleg felnagyított) *méretarányos másа, kópiája* értelmében (például: repülő-, hajó-, autómodell). Ebben az esetben a modell általános fogalmát azonosítják egyik speciális formájával, az ún. geometriai modellel.

2. A mindennapi életben a modell fogalmával más esetekben valamely tárgy, dolog (például: bizonyos termék, árucikk stb.) *ideális képét, prototípusát* jelölik, amely alapján ugyanezen tárgy további példányait készítik, vagy amely reprezentálja a tárgyak adott típusát (például: ruha-, cipő- stb. modell). A modell e jelentésével időnként a tudományos irodalomban is találkozhatunk, amikor is modellen a jelenségek egy adott osztályának reprezentánsát értik. A modell e jelentése a *d)* pontban említett módon alakul ki, vagyis a modell azon tulajdonságán alapszik, hogy ez mindig a megismerés objektumának helyettesítője. E felfogással mégsem érthetünk egyet, ugyanis a modell — a reprezentánssal ellentétben — nem a jelenségek azon osztályát vagy halmazát képviseli, amelynek maga is tagja vagy eleme, hanem a jelenségek egy *másik* osztályának vagy halmazának képviseletében lép fel.

3. Mint a korábbi felsorolásból is kitűnik, a modell fogalmát gyakran azonosítják a *valóság matematikai leírásával*, vagy az adott tudományágban alkalmazott matematikai apparátussal, vagy matematikai (pl. differenciál) egyenletek rendszerével, vagy matematikai sémával. A matematikának valóban igen nagy szerepe van a modell-módszer kidolgozásában, a tudományokban gyak-

---

között [33]; egyszerűsítő feltételek bármely rendszere [34]; olyan matematikai konstrukció, amelyhez bizonyos szóbeli értelmezést hozzáadva, leírja a megfigyelt jelenségeket [42]. Ez a felsorolás, úgy véljük, szemléletesen mutatja azt, hogy a „modell" terminust különböző tudományágakban (sőt néha egyes szerzők is) különböző értelemben használják, s indokolja jelentésének pontosabb megfogalmazását. Ezért csak azt említjük meg, hogy a felsorolás korántsem teljes, a hipotézistől a példamondatig, a prototípustól az információhordozóig, a jelrendszertől a makettig még számtalan közkeletű „jelentését" lehetne felsorolni.

ran használnak matematikai konstrukciókat, egyenletrendszereket, sémákat, mátrixokat, gráfokat stb. modellként. A jelenségek matematikai leírása, matematikai formulák alkalmazása önmagában azonban még nem modellezés „. . . egy objektum közvetlen és adekvát tükröződése matematikai fogalmakban nem jelölhető meg matematikai modellezésként" [50; 1507]. A jelenségek adott körét leíró matematikai apparátus akkor tekinthető modellnek, ha felhasználják a jelenségek egy másik körének tanulmányozására. Egy konkrét példával megvilágítva: a mechanikai inga mozgását kifejező differenciálegyenlet nem modellje, hanem többé-kevésbé adekvát leírása a mechanikai ingamozgást végző jelenségnek. Ha azonban ugyanezt a differenciálegyenletet — — bizonyos objektív viszonyok alapján — felhasználják, például, az elektromos rezgőkörben végbemenő folyamatok tanulmányozására, akkor az utóbbi folyamatok modellje. Továbbá, modell-funkciót tölt be egy matematikai rendszer abban az esetben is, amikor az általa leírt objektum helyett maga válik a kutatás közvetlen tárgyává, s analízise bizonyos új információt szolgáltat az objektumról. Ismét egy példán illusztrálva: a meghatározott gazdasági viszonyokat egyszerűsített formában kifejező mátrix—modell, amennyiben a (gazdasági) elemzést magán a mátrixon végzik, s ez lehetővé teszi a gazdasági viszonyok jobb megértését, bizonyos gazdasági döntések meghozatalát stb. Vagyis ez esetben a matematikai apparátus nem annyira a megismerés eszköze, hanem sokkal inkább közvetlen tárgya, az objektum helyettese a kutatás folyamatában.

4. Az előbbi álláspont „általánosított" változata az a felfogás, amely a különböző jelekből (pl. logikai, matematikai szimbólumok és formulák, kémiai elemek jelei és sémái, grafikonok, tudományok mesterséges nyelveinek egyéb jelei) felépülő *absztrakt rendszereket* tekinti modellnek. Ezzel analóg jellegű az a (főként a logikában elterjedt) felfogás, amelynek megfelelően egy elmélet modellje az a formalizált axióma-rendszer, amelynek ez az elmélet az interpretációja. Az objektum meghatározott oldalait és viszonyait izomorf vagy homomorf módon kifejező jelrendszerek nemcsak a modern tudományos megismerésnek, hanem egyben a tudományos modellek alkotásának is egyik leghatékonyabb eszközei. Minthogy a modell és a modellezett objektum között is általában izomorf vagy homomorf megfelelés áll fenn, továbbá, mivel a modellek egy jelentős része is az originál oldalait, viszonyait, tulajdonságait jelek segítségével fejezi ki, igen nehéz a pontos határvonalat meghúzni a modellek és a jelrendszerek között. Mégis úgy véljük, nem fogható fel minden jelrendszer modellként, mint ahogy nem tekinthető minden modell sem jelrendszernek; utóbbiak is csak a 3. pontban megfogalmazott feltételek esetén töltenek be modell-funkciót: „Természetesen, nem bármely jelrendszer modell — írja B. Sz. Grjaznov — . . . egy jelrendszer csak akkor lesz modell, ha a kutatás tárgyává válik, ha keretei között és eszközeivel olyan feladatokat oldanak meg, amelyek jelentése és értelme az adott jelrendszer keretein kívül fekszik." [4; 101.]

A 3. és 4. alatt említett felfogások kialakulása szintén a *d)* pontnak megfelelően ment végbe, vagyis a modell és a jelrendszer közös tulajdonsága (izomorf megfelelés) alapján következtettek azonosságukra. Továbbá, közrejátszott az a körülmény is, hogy az absztrakt jelrendszerek valóban gyakran modellként funkcionálnak. Erre utal az is, hogy e felfogások főként a biológiában, pszichológiában, fiziológiában, nyelvtudományban és közgazdaságtanban terjedtek el, vagyis azokban a tudományokban, amelyekben a matematikai módszereket

csak az utóbbi időben kezdték el jelentősebb mértékben alkalmazni, s ezért a matematikai apparátus még nem vált az elmélet szerves részévé, hanem külsődleges sémának vagy formális váznak tűnik.

5. A matematikában és a logikában elég széleskörűen elterjedt az a felfogás is, amely szerint nem a matematikai elmélet vagy általában az absztrakt jelrendszer a modell, hanem a formális deduktív rendszer *interpretációja*. E felfogás értelmében az objektumok minden olyan halmaza a matematikai elmélet modellje, amely izomorf ezzel az elmélettel, továbbá a formalizált axióma-rendszer modellje minden olyan elmélet, amely kielégíti a rendszer axiómáit. Ez az értelmezés, tehát, tulajdonképpen a 3. és 4. alatti koncepciók ellentéte: amíg az előbbi esetekben az absztrakt elméletet mint a kutatás eszközét tekintették modellnek, s a matematikai apparátus által leírt jelenségeket a modellezett objektumnak, addig itt fordítva: a matematikai elmélet az analízis tárgya, konkrét alkalmazása pedig a modell, vagy miként G. Klaus megfogalmazta: „modell alatt a különöst értik az általánoshoz viszonyítva" [41; 411]. A modellek gnoszeológiai sajátosságaival kapcsolatos irodalomban többen rámutattak e kétféle felfogás ellentétére,[3] s közülük néhányan, például, A. A. Zinovjev és I. I. Revzin, elutasítják az utóbbi „szóhasználatot", minthogy különben „a terminológia elveszti egyértelműségét" [10; 86]. Véleményünk szerint, megadható a modellek olyan általános fogalma, amelynek nem mond ellent ez a szóhasználat, pontosabban, amely magában foglalja a formalizált rendszerek interpretációjaként fellépő modelleket is. Ha ugyanis a modellt az objektum helyettesítőjének és kutatási eszközének tekintjük, s az objektum fogalmán nem csupán anyagi tárgyakat és jelenségeket értünk, hanem minden olyan képződményt, amely a megismerés tárgya lehet, tehát, többek között, elméleti konstrukciókat is, akkor nem feltétlenül a modell képviseli a modell-reláció absztraktabb vagy általánosabb pólusát, hanem bizonyos esetekben a modellezett objektum lehet elmélet vagy axiomatikus rendszer is, amelyhez viszonyítva a modell a kevésbé absztrakt rendszer, a különös. Mint már említettük, a modellezés szükségessége felvetődhet nemcsak a valóságtól az elmélethez vezető úton, hanem az absztrakt elméletek valóságára való vonatkoztatásakor vagy alkalmazásakor is. Ilyen esetekben az elméletnél egyszerűbb és kevésbé absztrakt modell mint a deduktív rendszer valóságra vonatkoztatásának eszköze lép fel. Zinovjev és Revzin, véleményünk szerint, túl szűken értelmezik mind a modellezés objektumának, mind a modellnek a fogalmát. A modellezés objektuma nemcsak anyagi rendszer lehet, s ennélfogva a modell nem minden esetben az elmélet kiépítésének eszköze.

A modell e felfogásával kapcsolatban azonban utalni kell arra is, hogy egy matematikai elmélet vagy deduktív rendszer interpretációja, illetve alkalmazása nem minden esetben modell. Ha egy matematikai rendszert alkalmaznak valamely tudományos elméletben, vagy felhasználják egy technikai konstrukció (pl. kibernetikai berendezés) létrehozására, s az elemzés nem lépi túl az

[3] Így például, G. Klaus szerint „a matematikában és a logikában egy axióma-rendszer modelljén e rendszer konkrét interpretációját értik. Tehát az axióma-rendszer az általános, e rendszer modellje ellenben a különös. A többi tudományokban az általános éppen a sok különös esetet összefoglaló, általánosító modell. Tehát, itt, a matematikával és a logikával ellentétben a modell az absztrakt." [38; 245.] V. A. Stoff szerint pedig „. . . ezt a terminust mindenekelőtt két egymástól teljesen különböző, egymásnak egyenesen ellentmondó értelemben használják: 1. valamilyen elmélet értelmében és 2. valami olyannak az értelmében, amire az elmélet vonatkozik, amit leír vagy visszatükröz" [25; 6—7].

adott tudományos elméletben felvetődő, illetve a technikai konstrukció létrehozásával kapcsolatos feladatok megoldásának körét, akkor sem az egyik, sem a másik nem tekinthető a matematikai rendszer modelljének, noha mind a tudományos elmélet, mind a kibernetikai berendezés — izomorf leképezés esetén — a formális rendszer interpretációja. Csak abban az esetben beszélhetünk modellezésről, ha a tudományos elméletet, illetve a technikai konstrukciót magának a matematikai rendszernek a vizsgálatára, például igazolására, használják fel.

6. A modell fogalmát nemritkán a *tudományos elmélettel* azonos értelemben használják, illetve *az elméletet a valóság (egyszerűsített, absztrakt) modelljének* tekintik. Így, például, a biológiai jelenségek modellezésével foglalkozó bristol-i szimpoziumon több előadó is az elmélet és a modell fogalmát szinonim értelemben használta. Az elmélet valóban funkcionálhat modellként, illetve a modell a megismerés folyamatában betöltheti bizonyos esetekben (például: ha hiányzik a valóság adott tartományát visszatükröző elmélet) az elmélet funkcióit, s igen gyakran szerepel az elmélet kidolgozásának eszközeként. Mégsem lehet egyetérteni azzal az állásponttal, amely a modellt és az elméletet szinonim fogalmaknak tekinti. Mi a különbség az elmélet és a modell között? A. N. Kocsergin szerint egyik lényeges különbségük az, hogy „a modell az elmélettel ellentétben nem értelmezheti a megismerés objektumát fogalmak formájában. Sőt, maga a modell elméleti értelmezésre szorul." [11; 35.] Ezzel a megfogalmazással nem tudunk teljesen egyetérteni: igaz ugyan, hogy a modellek gyakran nem fogalmak formájában tükrözik vissza a modellezett objektum tulajdonságait, különösen vonatkozik ez egyrészt az anyagi, másrészt a jelmodellekre. Ugyanakkor azonban az eszmei modellek között lehetnek olyanok, amelyek fogalmi apparátust is tartalmaznak. Például, az atommag struktúráját leíró modellek elemei nemcsak szemléletes képzetek és absztrakt jelek, hanem fogalmak is. Igaz, továbbá, hogy a modelleket, különösen az előbb említett két típushoz tartozókat, értelmezni kell, de vannak olyan modellek is, amelyek nem igénylik ezt, vagy amelyekkel szemben értelmetlen felállítani ilyen követelményt (pl. amelyek interpretációs funkciót töltenek be vagy a jelenségek magyarázataként funkcionálnak). I. T. Frolov szerint viszont az egyszerűsítés szintjében különböznek egymástól. „Arról az elvi különbségről van szó — írja Frolov —, amely a modellezés folyamatában megengedett egyszerűsítés és a tudományos fogalmak és törvények segítségével megvalósuló elméleti megismerés folyamatában elkerülhetetlenül fellépő egyszerűsítés jellege között áll fenn. Ez a különbség az egyszerűsítés szintjeiben fejeződik ki." [20; 41.] A modellezés egyik jellemző sajátossága, mint erre már A. Rosenblueth és N. Wiener is rámutatott [lásd 45], az egyszerűsítés, s ennélfogva a modell általában valóban egyszerűbb rendszer, mint az elmélet. Mégis egyet lehet érteni V. A. Stoff véleményével, amely szerint „a modellt az elmélettől megkülönböztető lényeges ismertetőjegy nem az egyszerűsítés szintje", „nem az absztrakció foka", hanem a modellre jellemző absztrakciók, egyszerűsítések és elvonatkoztatások kifejezésének módja" [25; 15.].

Nem lehet a „modell" és az „elmélet" terminusokat szinonim értelemben használni azért sem, mert az elmélet, amikor modell-funkciót tölt be, nem az általa visszatükrözött jelenségkörre vonatkozik, a valóság nem azon tartományának modellje, amelynek visszatükröződése. A tudományos elmélet vagy egy másik, vele izomorf viszonyban levő elméleti rendszernek, vagy egy másik (esetleg még nem vagy nem kellően kiépített) elmélethez tartozó jelenségnek a

modellje. Az elmélet, tehát, a valóságnak általában nem modellje, hanem többé-kevésbé hű, adekvát (és egyszerűsített, absztrakt) visszatükröződése.

7. A „modell" terminusnak egy túl széles, az *eszmei képmással* azonos értelmezésének kialakulása és elterjedése figyelhető meg az utóbbi évtizedben főként a pszichológiában és a kibernetikában. K. Steinbuch, G. Klaus, H. Seidel, K. D. Wüstneck, E. Jung, F. George, D. P. Gorszkij, N. M. Amoszov, J. Ponomarjov, Garai L., Gergely T. és mások által képviselt koncepció lényege, eltekintve az egyes szerzők közötti árnyalati különbségektől, abban foglalható össze, hogy az objektív valóság visszatükröződése mindig valamilyen formában modellezéshez kapcsolódik, s az (eszmei) képmás vagy esetleg ennek anyagi hordozója pedig a külvilág modellje. Minthogy a modell és a képmás viszonyának elemzésére a későbbiekben még visszatérünk, most csak a következőkre utalunk: *a)* E koncepció kialakításánál az említett szerzőknél kétségtelenül szerepet játszottak bizonyos pozitív célkitűzések is, egyik esetben (pl. Klausnál, Amoszovnál) a pszichikus folyamatok és jelenségek egzaktabb, kibernetikai módszerekkel történő vizsgálata, illetve a kibernetika fogalmi apparátusával való leírása, más esetben (pl. J. Ponomarjovnál) az eszmei képmásnak anyagi hordozójától való megkülönböztetése stb. Értékelve ezeket a pozitív célkitűzéseket, elismerve jogosultságukat és megvalósításuk szükségességét, mégis úgy véljük, maga ez a koncepció nem kellően indokolt és megalapozott, s ezért elfogadhatatlan számunkra. Nemcsak azért nem értünk egyet vele, mert ellentmond a modell hagyományos felfogásának és terminológiai zavarokhoz vezet, hanem azért sem, mert azonosítva a modellezést mint sajátos megismerési eljárást, magával a megismeréssel elmossa a modell gnoszeológiai specifikumát; továbbá, a pontatlan terminológia, úgy véljük, nem segíti elő a pszichikus folyamatokkal kapcsolatos problémák megoldását sem.

b) E felfogás is végső soron a *d)* pontban említett módon alakult ki: vagyis a modell azon tulajdonságából, hogy az objektívum *sajátos képe* vagy képmása, következtettek a modell és a képmás azonosságára.

8. A modell fogalmát időnként az *objektum* (anyagi) *reprodukálásával* azonosítják. Ilyen álláspontra helyezkedik többek közt, B. A. Glinszkij, B. Sz. Grjaznov, B. Sz. Dünyin és E. P. Nyikityin is, akik a következőképpen vezetik be a tudományos modell fogalmát: „. . . modell alatt igen gyakran az objektum anyagi reprodukálását értik . . . " Az objektum reprodukálása megvalósulhat tisztán gyakorlati funkciók, vagy az oktatás folyamatában demonstrációs funkciók ellátása céljából. „Végül, a reprodukáló objektumot felhasználják a reprodukált objektum *tanulmányozása* céljából. Éppen ebben (és csak ebben) az esetben van a reprodukáló objektumot jelölő ‚modell' szónak legközvetlenebb kapcsolata a modellezéssel mint a tudományos megismerés módszerével." [4; 12.] A modellezés, így az objektum kutatását szolgáló tudományos modellezés is, valamilyen formában a modellezett objektum (mesterséges) reprodukálásával kapcsolatos, ez a reprodukálás azonban lehet az originál *gondolati* megalkotása is. Ezért az említett szerzők szűken értelmezik a modell lényegét. A modellezést nem lehet az objektum *anyagi* reprodukálására redukálni, mert ez esetben kizárjuk a modellek egyik alapvető típusát, az ún. eszmei modelleket.[4] Hasonló álláspontot képvisel A. D. Viszlobokov is, sze-

[4] Ez a megközelítés egyébként ellentétben áll saját osztályozásukkal is, minthogy az anyagi modellek mellett a modellek másik alapvető típusának az eszmei modelleket tekintik.

rinte ugyanis a modell „a tanulmányozott objektum, az originál mint egész, vagy egyes oldalai gondolati reprodukálásának", „s úgy szintén anyagi reprodukálásának bizonyos módja" [3; 42—43]. Ez az álláspont, bár nem szűkíti le a modellezést az anyagi reprodukálásra, még határozottabban azonosítja a modellt az objektum reprodukálásával. I. T. Frolov igyekszik elhatárolni egymástól a mesterséges reprodukálást és a modellezést, minthogy az utóbbiról csak akkor beszélhetünk, ha az originál „gondolati vagy tárgyi imitációja" „kutatási célokat szolgál", s ezért „minden modellnek heurisztikus jellegűnek kell lennie" [20; 40]. Végeredményben azonban ő is egyrészt túl szűken értelmezi a modell fogalmát, másrészt azonosítja a modellezést a mesterséges reprodukálással. Meghatározása szerint ugyanis a modellezés „reálisan létező (természeti) rendszerek anyagi vagy eszmei imitálása e rendszer organizációját és funkcionálását reprodukáló analogonok (modellek) speciális konstruálása útján" [20; 39]. A modellezés során azonban nemcsak reálisan létező, természeti objektumokat lehet reprodukálni, hanem például, „mesterségesen létrehozott" eszmei rendszereket is. Abban, hogy Frolov az originál fogalmát leszűkíti a természetes rendszerekre, szerepet játszik az a körülmény, hogy ő a biológia oldaláról közelíti meg a modellezés problémáját, s a biológiai modellezés alkalmával valóban természetes rendszereket modelleznek. Ezzel függ össze az is, hogy más oldalról a modell fogalmát leszűkíti a mesterségesen konstruált analogon fogalmára. A modell azonban nemcsak mesterséges konstrukció lehet: miként a modellezés tárgya (az originál) nemcsak természetes, hanem mesterséges objektum is lehet, úgy reprodukálása is megvalósulhat nem pusztán mesterséges, hanem természetes rendszer közvetítésével is, a modell lehet természeti objektum is. Így, például, a biológiában magasabbrendű élőlények tanulmányozására gyakran alacsonyabbrendű organizmusokat használnak fel, s ekkor az utóbbiak az előbbiek modelljeiként funkcionálnak.

Más oldalról kiindulva jut el K. D. Wüstneck a modell és a mesterséges reprodukálás azonosításához. Ő bírálva Frolov említett álláspontját, úgy véli, hogy egy modellként alkalmazott mesterséges konstrukció nemcsak a kutatás folyamatában, hanem azon kívül is, általában is modell. Tarthatatlan véleménye szerint az az álláspont, amely szerint az ilyen konstrukció, amennyiben „alkalmazott funkciókat tölt be (pl. számoló automaták, amelyek agyi folyamatok modelljei, és a termelés szolgálatában, vagy fordításra stb. használják fel, általában modell-jellegű automaták, bioelektronikus vezérlésű művégtagok), nem tekinthető modellnek . . . " [50; 1513]. Sajnos Wüstneck nem részletezi, miért tarthatatlan ez az álláspont. Felfogásával szemben viszont felhozhatók a következők: Az elektronikus számológépek működési elvei valóban sok vonatkozásban analógok a magasabbrendű idegtevékenység meghatározott törvényszerűségeivel, s ezért felhasználhatók az agyműködés tanulmányozására, vagyis a tudományos kutatásban az utóbbi modelljeként funkcionálhatnak. Közismert azonban, hogy nemcsak a modern elektronikus számológépek, hanem még a legegyszerűbb munkaeszközök is ilyen vagy olyan vonatkozásban analógok az emberi (munka)tevékenység egyik vagy másik oldalával, illetve természetes szervével, általában az emberi tevékenység tárgyiasult produktumai igen gyakran antropomorf jellegűek. Ebből azonban nem következik, hogy ezek az eszközök, szerszámok, gépek, berendezések az ember, illetve az emberi tevékenység modelljei. Továbbá azt, hogy a modellek a kutatás folyamatán kívül nem modellek, nem rendelkeznek a „modellnek lenni" tulajdonsággal, mutatja a következő is: a magasabbrendű organizmusok előbb

említett élő (természeti) modelljeit a kutatás folyamatán kívül senki sem tekinti ezen organizmusok modelljének.

A modellezést és a mesterséges reprodukálást, ily módon, nem lehet azonosítani, bár az előbbi mindig a kutatás objektumának speciális reprodukálása. A modellezés azonban mégsem egyszerűen az objektum mesterséges újrateremtése, hanem a modellalkotás során mindig módosított formában, így vagy úgy „deformálva", csak meghatározott vonatkozásokban reprodukálódik a modellezett objektum. A modell, tehát, nem az objektum másolata, nem egy másik, az eredetivel minden tekintetben azonos utánzat, hanem olyan reprodukció, amely szükségképpen különbözik is a modellezett objektumtól.

9. Végül, széleskörűen elterjedt az a felfogás is, amelynek értelmében a modell olyan, a megismerés objektumával objektív megfelelési viszonyban levő és a kutatás folyamatában azt helyettesítő anyagi vagy eszmei rendszer, amelynek tanulmányozása új információt szolgáltat vagy szolgáltathat magáról a megismerés objektumáról. Ebben az értelmezésben, tehát, a modell az objektum megismerésének eszköze, amelynek legfontosabb gnoszeológiai funkciója az objektum megismerésének elősegítése. Ezért e felfogásban kapcsolódik a modell leginkább a modellezéshez mint a tudományos megismerés sajátos módszeréhez.

Figyelembe véve, egyfelől, a tudományos modellek értelmezésének sokféleségét, jelentésének nagy számát, másfelől gnoszeológiai funkcióinak gazdagságát, az egyes tudományágakban játszott szerepének eltérő jellegét, a modern tudományos megismerésben kialakult formáinak változékonyságát, jogosan vetődik fel a kérdés: megadható-e a tudományos modellezés olyan általános fogalma, amely átfogja a modellek formáinak és funkcióinak említett gazdagságát, amely egyaránt érvényes a különböző tudományokban különböző feladatok ellátására alkalmazott modellekre; s tartalmazza az egymástól gyakran lényegesen eltérő jelentéseit, értelmezéseit?

III. A TUDOMÁNYOS MODELLEZÉS FOGALMA

E kérdéssel kapcsolatban találkozhatunk egyértelműen tagadó válasszal, amely szerint a modell sokféle jelentése, értelmezéseinek különbözősége nem teszi lehetővé a modell fogalmának egységes meghatározását. Ha van is bizonyos alapja a negatív válasznak, egészében még sem érthetünk egyet vele. Úgy véljük azonban, a kérdés jelenlegi megfogalmazásában nem válaszolható meg egyértelműen; hogy megválaszolhassuk, két kérdésre kell bontanunk. Az egyik kérdés így hangzik: Összeegyeztethetők-e egymással a tudományos modell fogalmának ezek a különböző értelmezései és jelentései? Van-e valami közös ezekben az egymástól eltérő felfogásokban? A „modell" terminus jelentései és értelmezései közül sok közel áll egymáshoz, s ezért kihámozható a bennük levő közös elem. Nem egy közülük azonban pontatlan, félreértésen alapszik, olyan mozzanatokat tartalmaz, amelyeknek objektíve nincs kapcsolatuk a modellekkel; s néhány értelmezése pedig olyan jelentést tulajdonít a modelleknek, amelyre van más terminológia, amely tévedésen alapszik. Az elmúlt két évtizedben sok olyan tanulmány, cikk, monográfia jelent meg, kezdve A. Rosenblueth és N. Wiener cikkével [45], amely éppen a modellmódszer lényegének és sajátosságainak feltárását, a modell fogalmának pontos meghatározását tűzte ki céljául. E problematika felkeltette sok marxista

filozófus, mint például, B. Sz. Dünyin, B. A. Glinszkij, V. M. Gluskov, B. Sz. Grjaznov, G. Klaus, I. B. Novik, E. P. Nyikityin, I. I. Revzin, V. A. Stoff, K. D. Wüstneck, A. A. Zinovjev és mások érdeklődését, akik számos műben [lásd, például 4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 23, 25] foglalkoztak a modellezés gnoszeológiai sajátosságaival, arra törekedve, hogy a dialektikus materialista ismeretelmélet alapján meghatározzák a modell-módszer helyét és szerepét a tudományos megismerés folyamatában.

A másik kérdést így fogalmazhatjuk meg: Van-e valami közös a tudományos modellek legkülönbözőbb formáiban? Van-e olyan sajátszerűség, amely minden modellre jellemző, s amely egyben megkülönbözteti a modellezést a tudományos megismerés más formáitól és módszereitől? E kérdésre pozitív választ kell adnunk. Ezért az a feladatunk, hogy elvonatkoztatva az egyes tudományokban alkalmazott modellek konkrét sajátosságaitól, megjelenési formájuk sokféleségétől, funkcióik különbözőségétől, feltárjuk azt, ami közös bennük, ami általános érvényű.

Mindenekelőtt, a modell a tudományos megismerés egyik *eszköze*, amely elválaszthatatlan a modellezéstől mint sajátos megismerési eljárástól, a tudományos megismerés specifikus módszerétől. Ezért modell csak a modellezés folyamatában létezik, s lényegi sajátosságai csak úgy tárhatók fel, ha elemezzük a modellezés módszerének sajátszerűségeit.

A modellezés olyan kutatási eljárás, amelynek során a kutató közvetlenül nem hat a megismerés objektumára, hanem megismerési-kutatási operációi egy másik objektumra irányulnak, amely ezt helyettesíti a kutatás folyamatában. Másként megfogalmazva, a modellezés olyan tudományos módszer, amelynek segítségével az ismeretlent az ismertre vezetik vissza, amely lehetővé teszi a kutatót közvetlenül érdeklő, még kevésbé tanulmányozott jelenség, illetve még nem vagy nem kellően elemzett oldalainak, tulajdonságainak és viszonyainak egy olyan másik jelenség közvetítésével történő vizsgálatát, amelyről már megfelelő szintű ismerettel rendelkeznek. A megismerés folyamatában ugyanis, mint említettük, gyakran előfordulnak olyan szituációk, amikor nem lehetséges vagy csak nagy erőfeszítések árán lehetséges, vagy egyszerűen nem célszerű az objektum közvetlen megfigyelése, mérése, az objektummal való közvetlen kísérletezés stb. Ilyen esetekben a kutató a megismerés objektumának közvetlen kutatása helyett egy vele meghatározott megfelelési viszonyban (analógia, izomorfizmus, homomorfizmus) levő, természetes vagy mesterséges objektum tanulmányozásához folyamodik, hogy megismerve ezt az utóbbi objektumot (illetve bizonyos oldalait, sajátosságait, törvényszerűségeit), új információt nyerjen magáról a megismerés objektumáról. A modellezés tehát, az objektum tanulmányozásának *közvetett* módszere. Legyen M a jelenségek meghatározott (anyagi vagy eszmei) rendszere, O pedig egy másik (anyagi vagy eszmei) rendszer; legyen továbbá, M' — az M rendszerre vonatkozó kijelentések halmaza, O' — pedig az O-ra vonatkozó kijelentések halmaza. A modellezés során a kutató a kutatás tárgyát képező O rendszert az M rendszerrel helyettesíti, s az M tanulmányozása révén nyer bizonyos új információt az O-ról. Vagyis a modellezés olyan eljárás, amelyben az O'-t az M közvetítésével nyerik. Hogy ez megvalósulhasson, egyrészt az M és az O között megfelelő objektív viszonynak (pl. izomorfizmusnak) kell lennie, másrészt a kutatónak ismernie kell ezt a viszonyt, azaz rendelkeznie kell az M rendszer és az O rendszer viszonyára vonatkozó bizonyos kijelentések halmazával. *A* **modellezés** tehát a *tudományos megismerés olyan módszere,*

amelynek során a kutatót közvetlenül érdeklő jelenségek, tárgyak, folyamatok, vagyis *az objektum tanulmányozása*, tulajdonságainak, összefüggéseinek, *törvényszerűségeinek feltárása egy másik, vele meghatározott és a kutató által többékevésbé ismert megfelelési, hasonlósági viszonyban levő közbenső* (anyagi vagy eszmei; természetes vagy mesterséges) *objektum kutatása útján valósul meg.* Ezt a megismerés tényleges objektumát helyettesítő közbenső objektumot, amelyre az adott kutatási periódusban a megismerési-kutatási operációk irányulnak, s amelynek tanulmányozása révén új ismeretet kapunk az eredeti objektumról (az ún. originálról) — *modell*nek szokás nevezni. Vagyis, ha az M rendszert az O rendszer kutatására használják fel és az O'-t az M közvetítésével nyerik, akkor az M rendszer az O rendszer modellje. Ily módon a modellezés olyan tudományos módszer, eljárás, amelyben a megismerés objektumát modellje segítségével tanulmányozzák.

1. A MODELL SAJÁTOSSÁGAI

A modellezés fogalmának jellemzése lehetővé teszi, hogy feltárjuk a tudományos modellek leglényegesebb tulajdonságait, azaz, a fentiek alapján megvizsgálhatjuk, mit foglal magában a „modellnek lenni" tulajdonság.

Minthogy a modellezés folyamatában a megismerés objektumát modelljével váltják fel, s az objektum kutatása a modell tanulmányozása útján valósul meg, a tudományos modell egyik legjellemzőbb tulajdonsága az, hogy a *megismerés objektumának, az originálnak a helyettese.* Ennélfogva a kutatás *közvetlen* tárgya már nem az objektum, hanem a modellje; vagyis a modellezés folyamatában a kutató minden megismerési-kutatási operációja a modellre irányul: a modellt figyeli meg, a modellen végez mérést, számolást, kísérletet, elméleti-megismerő tevékenysége is a modellre koncentrálódik, a modellen (vagy a modellre vonatkozó kijelentéseken) hajt végre logikai műveleteket stb. Ezért is szokás a modellezést modellen végzett (reális vagy gondolati) kísérletezésnek tekinteni. E megfogalmazásban kifejeződik a modellezés és a tudományos kísérlet rokon jellege, s egyben a tudományos megismerés e két alapvető módszere közötti lényeges különbség is, mindenekelőtt az, hogy a kísérlettel ellentétben a modellezés során nem alakul ki közvetlen összefüggés, kölcsönhatás a kutató által mozgásba hozott kutatási eszközök és a megismerés objektuma között.[5]

Ugyanakkor a modellezés is az objektum megismerésének módszere, azaz a modellt mint az objektum helyettesét magának az objektumnak, vagyis a kutatót közvetlenül érdeklő tárgy, jelenség, illetve megfelelő oldalai, tulajdonságai tanulmányozására használják fel. A modell nem pusztán felváltja a megismerés objektumát a kutatás folyamatában, hanem egyszersmind megismerését is szolgálja. A modell ugyanis nem önmagáért létezik, hanem megalkotásának és tanulmányozásának az a célja, hogy bizonyos új ismereteket nyújtson az originálról. A modell, tehát, az *objektum megismerésének az eszköze*, s ezért mindig *heurisztikus* szerepet játszik a tudományos megismerés folyamatában. A modell e lényegi sajátosságának figyelmen kívül hagyása óhatatlanul a megismerési folyamatból való kiszakításához vagy legalábbis

[5] A kísérlet és a modellezés viszonyának behatóbb elemzése megtalálható: A. Kocsondi: Vzaimootnosényije experimenta i modeliroványija v naucsnom poznanyii. Acta Philosophica, X. Szeged 1969.

a megismerésben elfoglalt helyének és szerepének eltorzításához s ennélfogva téves értelmezéséhez vezet.

A modellezés olyan megismerési eljárás, amelynek során tulajdonképpen anyagilag vagy eszmeileg reprodukálják a tanulmányozott jelenséget (illetve, bizonyos oldalait, tulajdonságait) egy másik anyagi vagy eszmei rendszer segítségével. A modell ugyanis, csak úgy teljesítheti gnoszeológiai funkcióját, csak úgy válhat az objektum helyettesévé és megismerésének eszközévé, ha meghatározott módon visszatükrözi azt. Ezért egyik leglényegesebb sajátszerűsége, amint erre V. A. Stoff rámutatott, az hogy „képes *visszatükrözni, reprodukálni* az objektív világ tárgyait, jelenségeit, ezek törvényszerű rendjét, struktúráját" [22; 53]. Ily módon, a modell mindig az *objektum anyagi vagy eszmei reprodukálása.* Ez azonban, mint már említettük, nem jelenti azt, hogy a modellezést azonosíthatjuk a mesterséges reprodukálással. Az utóbbit csak abban az esetben tekintjük modellalkotásnak, ha a reprodukált objektum tanulmányozását szolgálja. Továbbá, a modell nem feltétlenül mesterséges konstrukció, hanem lehet természeti tárgy, folyamat is.

A modellezés és a mesterséges reprodukálás nem azonosítható egymással azért sem, mert a reprodukálás a reprodukált objektummal teljesen, minden vonatkozásban azonos új objektumot hoz létre, ezzel szemben a modell általában *egyszerűbb a modellezett objektumnál,* a modellezés egyik jellemző vonása az *egyszerűsítés.* A modell ugyanis általában azért alkalmasabb az adott kutatási feladat elvégzésére, mint maga az originál, azért teszi lehetővé az objektum olyan oldalainak, viszonyainak a tanulmányozását, amelyek kutatása magán az objektumon nem lehetséges, mert kevésbé bonyolult struktúrával rendelkezik, egyszerűbb komponensekből épül fel.

A modellként alkalmazott objektumnak, mint erre már Rosenblueth és Wiener is rámutatott, *ismertebbnek kell lennie* a tanulmányozott objektumnál, hiszen csak így szolgálhatja az originál megismerését, csak így valósulhat meg az ismeretlen visszavezetése az ismertre.

A modell egy további, ez ideig kevésbé elemzett sajátossága az, hogy *lehetővé kell tennie a tanulmányozása révén nyert információ átvitelét a modellezett objektumra.* Nyilvánvalóan, a modell csak akkor válik az objektum megismerésének eszközévé, ha a modellezés folyamatában nyert ismeret ilyen vagy olyan formában vonatkoztatható a megismerés eredeti objektumára. I. B. Novik megfogalmazása szerint rendelkeznie kell a „modellre vonatkozó információtól (azaz a modell tanulmányozásánál nyert információtól) magáról a modellezett objektumról nyert információra való átmenet elég pontos szabályaival" [12; 92]. E szabályokat, úgy véljük, nem a modellnek, hanem a modellezés módszerének kell tartalmaznia, a modellnek az információátvitel lehetőségét kell biztosítania. Ezért azt kell megvizsgálni, milyen feltételek mellett teszi lehetővé a modell az információ átvitelét az originálra. E feltételek vizsgálata megköveteli a modell és az objektum viszonyának részletesebb analízisét.

A modell csak úgy teszi lehetővé az információ átivelét az originálra, ha rendelkezik az objektum azon tulajdonságaival, amelyek a kutatás szempontjából lényegesek, azaz ha a *modell és a modellezett objektum között meghatározott objektív viszony, megfelelés áll fenn.* Ugyanakkor ez a megfelelés nem lehet azonosság, mert ez esetben éppen annyira alkalmatlan a kutatási cél elérésére, mint maga az eredeti objektum. Természetesen a közöttük levő különbség nem lehet túl nagy sem, vagy a közöttük levő megfelelés nem lehet felszínes,

másodrendű tulajdonságokkal kapcsolatos. Ezért a modell-módszer egyik kulcsproblémája éppen az originál és a modell viszonya.

Mielőtt e viszony részletesebb elemzését elkezdenénk, a modell még egy jellemző vonására utalunk: a modell lényeges eleme nemcsak e viszony megléte, hanem *ismerete* is. A modell kiválasztása vagy megkonstruálása egyfelől, az információ átvitele az originálra másfelől, ugyanis csak úgy lehetséges, ha a kutató többé-kevésbé pontos, adekvát ismeretekkel rendelkezik az objektum és a modell viszonyáról. E körülmény következtében a tulajdonképpeni modellezést mindig megelőzi az objektum és a modell közötti viszony tanulmányozása, már amennyire ez lehetséges az objektumra vonatkozó ismeretek kellő mélysége nélkül. A modell-módszer alkalmazásának egyik leglényegesebb nehézsége éppen az, amint erre B. Sz. Grjaznov, B. Sz. Dünyin és E. P. Nyikityin rámutatott, hogy „bár a kísérletezőt érdeklő originál sajátosságai ismeretlenek, ... mégis ezeknek megfelelően kell kiválasztani a modellt" [8; 66]. Valóságban azonban a modellezett objektum nem abszolút ismeretlenként áll előttünk a modellezés előtt, hanem bizonyos tulajdonságait, összefüggéseit már megismertük az előző megfigyelés, kísérlet stb. folyamatában, amelyek során éppen felvetődött a modellezés szükségessége vagy célszerűsége. Továbbá, a modellezés során megismerve az objektum bizonyos tulajdonságait, lehetővé válik viszonyuk egyre pontosabb feltárása is. Az originál már megismert tulajdonságai, valamint a modell (illetve a leendő modell) tulajdonságai közötti megfelelés képezi azután a modell kiválasztásának vagy megépítésének, majd továbbfejlesztésének, pontosabbá tételének, továbbá magának a modellezésnek az alapját. Logikai szempontból ugyanis a modellezés az emberi gondolkodás azon sajátosságával függ össze, hogy képes a különböző objektumok eltérő oldalaitól, tulajdonságaitól elvonatkoztatni, s kiemelni a bennük levő közös (vagy analóg) sajátosságokat; vagyis a modellezés egyik jellemző logikai eszköze az ún. azonosság absztrakciója.

2. A MODELL ÉS AZ OBJEKTUM VISZONYA

A modell-módszer egyik leglényegesebb gnoszeológiai problémája, mint már utaltunk rá, a modellezett objektum, vagyis a megismerés eredeti, tulajdonképpeni tárgya és a modell, vagyis a kutatás közvetlen tárgya közötti viszony, hiszen ez képezi egyrészt a modell megkonstruálásának, illetve kiválasztásának, másrészt a modellről az originálra történő információátvitelnek az alapját. Ezért a modell lényegének feltárása csak e viszony elemzése alapján valósulhat meg.

E viszony vizsgálatánál mindenekelőtt azt kell figyelembe venni, hogy a modellezés nem tételezi fel még anyagi objektumok anyagi modelljei esetében sem, hogy az objektum és modellje között tényleges anyagi-energetikai kölcsönhatás, reális kapcsolat álljon fenn. A modell és az originál között objektíve meglevő tulajdonságaik alapján a kutató létesít összefüggést a kutatás folyamatában. Ezért az objektum és a modell viszonyának egyik leglényegesebb vonása az, hogy elsődlegesen nem közvetlen, reális kölcsönhatást magában foglaló összefüggés, hanem *szociálisan feltételezett viszony, melyet a szubjektum közvetít.* Ily módon, a modell lényegének megértéséhez nem elegendő pusztán az originálhoz való viszonyának a tisztázása, hanem figyelembe kell venni, hogy a modell mindig feltételezi a megismerő szubjektum jelenlétét, aki összefüggést létesít közte és a megismerés objektuma között, aki számára az egyik

objektum modellként, a másik originálként funkcionál. Ez azt jelenti, hogy a modell lényegének megértése megköveteli a kutatási folyamatban elfoglalt helyének és szerepének pontos feltárását. Továbbá, ez azt is jelenti, hogy *modellről csak a tudományos megismerés folyamatában beszélhetünk.* „A kutatás aktusán kívül — írja B. A. Glinszkij — csak objektív tulajdonságokkal rendelkező tárgyak és folyamatok vannak, de nincs modell és originál." [4; 19.] Egy objektum csak azon jelentés következtében válik modellé, amelyet a szubjektum tulajdonít neki, mint az objektum helyettesének a kutatás folyamatában.

A modell tehát, nem önmagában, hanem csak az originálhoz és a szubjektumhoz való viszonyában létezik. „. . . a modellfogalom lényegéhez tartozik — írja K. D. Wüstneck —, hogy három komponens között álljon fenn viszony, hogy a modell mint ilyen csupán egy meghatározott ‚szubjektumra' vonatkoztatva definiálható" [50; 1515]. A modell és az objektum viszonyának egy újabb jellemző vonása tehát az, hogy maga *ez a viszony is a modell, az originál és a szubjektum között fennálló bonyolult kapcsolatrendszer eleme.* E kapcsolatrendszeren belül mindenekelőtt három alapvető oldal figyelhető meg, nevezetesen az objektum és a szubjektum, a szubjektum és a modell, valamint a modell és az objektum viszonya. A modell és az objektum ily módon értelmezett viszonyát *modell-relációnak,* vagy röviden: *M-relációnak* nevezzük. A modell-reláció, következésképpen, az objektum és a modell között fennálló s a szubjektum által közvetített sajátos viszony, amely egy háromoldalú kapcsolatrendszer egyik komponense.

A modell-reláció mint konkrét viszony az objektum és a modell közötti *objektív megfelelés,* amelyet a szubjektum állapít meg meglevő objektív tulajdonságaik alapján, s amely lehetővé teszi, hogy a modell az originál helyettesének és megismerési eszközeként funkcionáljon. A modell ugyanis csak úgy töltheti be gnoszeológiai funkcióit, ha objektív tulajdonságai összhangban vannak, megfelelnek az objektum tulajdonságainak, éspedig a kutatás szempontjából lényeges tulajdonságainak. Másként megfogalmazva: a modellezés egyik alapvető feltétele, hogy a *modell és az objektum közös tulajdonságokkal rendelkezzenek.* Ebből a szempontból a modell nem más mint az originállal megfelelési viszonyban levő objektum.

A modell azonban nemcsak megfelel a modellezett objektumnak, hanem ugyanakkor *lényegéből következően különbözik is az originálttól,* nevezetesen különböznie kell azokban a tulajdonságokban, amelyek megnehezítik vagy lehetetlenné teszik a megismerés objektumának közvetlen tanulmányozását, amelyek következtében szükségessé válik a kutatás folyamatában az objektum helyettesítése modelljével. Ha ugyanis a modell nem különbözne az originálttól, ha minden tulajdonságában megegyezne a modellezett objektummal, úgy éppannyira alkalmatlan lenne az objektum lényegének feltárására, mint maga az eredeti objektum. Ez esetben a kutató ugyanolyan nehézségekkel állna szemben a modell tanulmányozása során, mint amelyek korábban az objektum kutatása során is felléptek. A modell és a modellezett objektum közötti különbség hangsúlyozása más szempontból is jelentős, ugyanis e különbség figyelembevétele nem kis mértékben elősegítheti több, főként az agyi folyamatok, s ezen belül az emberi gondolkozás bizonyos funkcióinak kibernetikai modellezésével kapcsolatban felvetődő filozófiai-világnézeti probléma pozitív megoldását. Ezért nem érdektelen azt is megemlíteni, hogy a modellek nem csupán az említett tulajdonságokban, tehát az objektum köz-

vetlen tanulmányozását gátló tulajdonságokban térhetnek el az origináltól, hanem általában még egy sor más tulajdonságban (például, gyakran anyagi-fizikai természetükben, „szubsztrátumuk"-ban) is különböznek az objektumtól. Különösen nyilvánvaló ez az eltérés az ún. jelmodelleknél (absztrakt matematikai, logikai modelleknél), hiszen a jel lényegénél fogva nem tételezi fel a denotátummal való hasonlóságát.

Ugyanakkor a modell és a modellezett objektum közötti különbség nem lehet túl nagy sem: ellenkező esetben ugyanis a modell tanulmányozása során nyert ismeretet nem lehetne az objektumra átvinni, illetve az objektumra vonatkoztatott információ igazságértéke igen bizonytalanná válna. A modellnek, tehát rendelkeznie kell az objektum bizonyos tulajdonságaival, mindenekelőtt azokkal, amelyek megismerése az adott kutatás célkitűzése. „. . . hűen követni az eredetit (ill. a tervezettet) azokban a tulajdonságokban, amelyek szemléltetésére (vagy vizsgálatára) a modell készül, és szabadon eltérni az eredetitől egyéb tekintetben" [47; 154]. Ez viszont azt jelenti, hogy a modell és az originál elemei közötti megfelelés nemcsak az objektumtól függ, hanem azoktól a célkitűzésektől is, amelyeket az adott kutatási fázisban követnek. A kutató választja ki, határozza meg az objektum azon tulajdonságait, amelyekkel a modellnek szükségképpen rendelkeznie kell, s amelyekben eltérhet, illetve amelyekben el kell térnie. Mindez természetesen vonatkozik a jelmodellekre is, azaz ezek sem különbözhetnek abszolút módon a modellezett objektumtól, hanem a jelek közötti viszonyoknak a modellen belül meg kell felelniük az objektum elemei, részei közötti viszonyoknak.

A fentiek alapján látható, hogy a *modell és az objektum viszonya ellentmondásos:* a modell egyfelől az objektummal közös tulajdonságokkal rendelkezik, másfelől szükségképpen különbözik is a modellezett objektumtól. „. . . amikor a modell túlságosan ‚pontos' — írja V. A. Stoff —, elveszti értelmét, amikor viszont nem tökéletes — a hibák forrása" [23; 49—50]. Mindez azt jelenti, a *modell-relációra nem az azonosság, hanem a megfelelés a jellemző.* Ez a megfelelés kifejeződhet egyszerűbb esetekben a formák geometriai hasonlóságában, más esetekben a fizikai törvények invarianciájában, vagy a különböző folyamatokat leíró matematikai egyenletek azonosságában, továbbá bizonyos funkciók egybeesésében, hasonló viselkedésmódban stb.

A modell és az objektum közötti megfelelés egyik jellemző formája vagy típusa az *analógia.* Analógián általában az azonosság egyik sajátos formáját értik, amikor két objektum, illetve azok meghatározott tulajdonságai között hasonlóság áll fenn. A modern matematikai és logikai irodalomban azonban analógián nem annyira az objektum tulajdonságai, hanem főként elemei és viszonyai közötti hasonlóságot értik. Ilyen alapon nevezi például V. A. Stoff az analógiát a „struktúrák hasonlóságának". Figyelembe kell azonban azt is venni, hogy a fentiek mellett hasonlóság állhat fenn az objektumok funkciói között is, s a bonyolult dinamikus rendszerek modellezésénél éppen a funkciók hasonlósága a lényeges. Ezért analógián a továbbiakban két rendszer elemei és ezek viszonyai, azaz struktúrája, továbbá funkciói közötti hasonlóságot értjük, megjegyezve, hogy a modellezés során nem szükségképpen áll fenn analógia mindhárom vonatkozásban. A modell-reláció általában nem foglalja magában egyidejűleg az elemek, a viszonyok és a funkciók hasonlóságát.

Az objektumok közötti objektív hasonlóságon alapul az analogikus következtetés mint logikai eljárásmód, s általában az analogikus módszer mint a

tudományos megismerés egyik metodológiai eszköze. Az analogikus következtetés hagyományos értelmezése a következő: Ha két objektum, például A és B, hasonlóak egymáshoz bizonyos tulajdonságok, például a $P_1, P_2, \ldots, P_n$ tulajdonságok, tekintetében és az A objektum emellett még a P_{n+1} tulajdonsággal is rendelkezik, akkor a $P_1, \ldots, P_n$ tulajdonságok közös volta alapján feltételezhető, hogy a B objektum is rendelkezik a P_{n+1} tulajdonsággal. Az így nyert ismeret valószínű értékű; ezért e következtetési típus sematikusan így írható fel:

$$\frac{\begin{array}{c} A(P_1, \ldots, P_n) \cdot B(P_1, \ldots, P_n) \\ A(P_{n+1}) \end{array}}{\text{Valószínű, hogy } B(P_{n+1})}$$

A fentieknek megfelelően analogikus következtetés alapját képezheti nemcsak az objektumok közös tulajdonságai, hanem elemeik, viszonyaik, funkcióik hasonló jellege is [lásd 14]. Mind e következtetések esetében azonban a konklúzió igazsága — feltételezve a premisszák igaz voltát — csak valószínű. Ezért a logikában különböző módszereket, illetve feltételeket dolgoztak ki, amelyek segítségével a nyert ismeret megbízhatósága fokozható. Azonban még e módszerek és feltételek együttes alkalmazása sem szünteti meg teljesen az analogikus következtetés révén nyert új ismeret valószínűségi jellegét.

Annak ellenére, hogy az analogikus következtetés csak valószínű értékű következtetést ad, az analogikus módszer igen jelentős szerepet játszott a tudományok újkori történetében s általában igen szorosan kapcsolódott a modell-módszerhez. Mégsem lehet egyetérteni azzal az időnként itt-ott jelentkező felfogással, amely egyenlőségjelet tesz a tudományos megismerés e két módszere közé. Az analógia, illetve az analogikus módszer alkalmazása még nem modellezés. Az analogikus módszer a tudományos megismerés folyamatában nemcsak a modellezéshez kapcsolódhat, hanem felhasználják a legkülönbözőbb kutatási feladatok megoldására, a legkülönbözőbb tudományos célkitűzések elérésére. Következésképpen, az analogikus módszer csak speciális esetekben tekinthető modellezésnek. „Csak abban az esetben van dolgunk modellezéssel — írja Zinovjev és Revzin —, ha a különböző objektumok közötti analógia megállapítása alapján az egyiket, mint a másik imitációját vizsgálatnak vetik alá, és ha az ily módon az egyikről nyert ismeret a másikra vonatkozó következtetés elengedhetetlen feltétele." [10; 83.] Továbbá, figyelembe kell venni, hogy a modell-reláció sok esetben az analógiánál pontosabb megfelelési viszonyt foglal magában, ugyanis a tudományos megismerés fejlődésével egyre inkább szükségessé vált olyan módszerek kidolgozása, amelyek segítségével a modellezés során nyert ismeret megbízhatósága nagyobb, mint az analogikus módszer alkalmazása révén nyert ismereté.

A matematikában kidolgozták a modell és az objektum közötti megfelelés egzaktabb formáit, mindenekelőtt a modellezésben oly jelentős szerepet játszó *izomorfizmus* fogalmát. Két rendszer akkor izomorf, ha az egyik rendszer elemei egyértelműen megfelelnek a másik rendszer elemeinek és viszont, és ha az első rendszer elemei közötti viszonyok egyértelműen megfelelnek a másik rendszer elemei közötti viszonyoknak és viszont. Azaz két rendszer, S és S' akkor izomorf, ha 1. az S rendszer minden egyes elemének megfelel az S' rendszer egy s csakis egy eleme, s fordítva; 2. az S rendszer minden egyes

viszonyának megfelel az S' rendszerben egy s csakis egy viszony, s fordítva; 3. ha az S rendszer meghatározott elemei $(a, b, c, \ldots)$ között meghatározott R viszony áll fenn, akkor az S' rendszer megfelelő elemei $(a', b', c', \ldots)$ között az R viszonynak megfelelő R' viszony áll fenn, és fordítva. Az izomorfia, tehát olyan megfelelés, amely szerint két rendszer kölcsönösen leképezhető egymásban. Ennek megfelelően, ha a modell és a modellezett objektum között izomorf megfelelés áll fenn, akkor a modell minden egyes eleme egyértelműen megfelel az objektum elemeinek és a modell elemei közötti viszonyok egyértelműen tükrözik vissza az objektum elemei közötti viszonyokat. Másként megfogalmazva, az M-reláció akkor izomorf, ha megadható egy olyan f függvény, amely értelmében az O rendszer minden egyes elemének megfelel az M rendszer egy s csakis egy eleme és az O rendszer elemei közötti viszonyoknak megfelel egy s csakis egy viszony az M rendszerben. Minthogy az izomorfizmus kölcsönösen egyértelmű megfelelést létesít a két rendszer között, mindig megadható az f függvény inverze, az $\bar{f}$ függvény is, amely szerint az M rendszer minden egyes elemének megfelel az O rendszer egy s csakis egy eleme, s az M rendszer elemei közötti minden egyes viszonynak megfelel egy s csakis egy viszony az O rendszerben. Ez viszont azt jelenti, hogy izomorfizmus esetén a két rendszer bármelyike felfogható a másik rendszer modelljeként.

Már ebből is látható, hogy a modellezés, a modell gnoszeológiai funkcióinak megvalósulásához nem minden esetben szükséges, hogy a modell-reláció izomorfia legyen, hanem elegendő gyakran a megfelelés egy viszonylag gyengébb formája, az ún. *homomorfizmus*. Míg az izomorfizmus a két rendszer között kölcsönösen egyértelmű (egy-egyértelmű) megfelelést tételez fel, addig a homomorfizmus teljesüléséhez elegendő a két rendszer közötti egyértelmű megfelelés. A homomorfizmus, tehát olyan megfelelés két rendszer között, amelynek megfelelően az egyik rendszer minden egyes elemének megfelel a másik rendszer egy s csakis egy eleme; és minden egyes viszonyának megfelel a másik rendszer egy s csakis egy viszonya. Ily módon, az S' rendszer akkor homomorf leképezése az S rendszernek, ha 1. az S rendszer minden egyes elemének megfelel az S' rendszer egy s csakis egy eleme; 2. az S rendszer minden egyes viszonyának megfelel egy s csakis egy viszony az S' rendszerben; és 3. ha az S rendszer meghatározott elemei $(a, b, c, \ldots)$ között meghatározott R viszony áll fenn, akkor az S' rendszer megfelelő elemei $(a', b', c', \ldots)$ között az R viszonynak megfelelő R' viszony áll fenn (de általában fordítva nem). Ez azt jelenti, amennyiben az M-reláció homomorfia, úgy az M rendszer és az O rendszer között az f függvény áll fenn, ugyanakkor nem szükséges az $\bar{f}$ függvény fennállása.

Minthogy a modell-relációra általában az izomorfia vagy a homomorfia a jellemző, a modell az objektum *sajátos képmásának* tekinthető. Az objektum képmása, amennyiben egyértelmű megfelelés áll fenn a modell és a modellezett objektum elemei és viszonyai között; és sajátos képmás, amennyiben ez a megfelelés általában tisztán formális jellegű. Ezért joggal vetődik fel a kérdés: Milyen értelemben tekinthető a modell az objektum képmásának? S általában: Milyen a viszony a modell és a gnoszeológiai értelemben vett képmás között?

E kérdés behatóbb elemzését indokolja az is, hogy ezzel kapcsolatban nem egy, a tudománymetodológián túlmutató gnoszeológiai probléma is felvetődik. A modell és a képmás viszonyát illetően ugyanis a filozófiai és a tudománymetodológiai irodalomban különböző, egymástól lényegesen eltérő álláspont alakult ki. Közülük a két szélső pólusként jelentkező álláspont, vagyis a modell és a képmás közötti azonosságot, illetve különbséget abszolutizáló felfogás kritikai elemzésére szorítkozunk. Az egyik pólust a II/7. pont alatt már érintett felfogás képviseli, amely azonosítja egymással a modell és az (eszmei) képmás fogalmát, amely szerint a valóságról nyert minden (gnoszeológiai értelemben vett) képmás a valóság modellje. E felfogás ellentétének tekinthető az a Zinovjev, Revzin, Glinszkij, Grjaznov, Dünyin, Nyikityin és mások által képviselt álláspont, amely tagadja a modell képmás jellegét, amely szerint a modell csak az ismeretszerzés eszköze, de nem ismeret, azaz nem képmás.

Az első álláspont képviselői egyrészt túl szélesen értelmezik a modell fogalmát, amennyiben azonosítják a külvilág hatásainak valamely kibernetikai rendszerben történő leképezésével, másrészt felfogásuk bizonyos fokig következetlen, ellentmondásos, amennyiben emellett általában elismerik a modell „hagyományos" felfogását is. Így például, G. Klaus abból indul ki, hogy a modell fogalmának két értelmezését lehet megkülönböztetni. „Az egyik a modellre mint *az emberi ismeretek megszerzésének eszközére* vonatkozik, a másik pedig mint meghatározott típusú dinamikus rendszerek viselkedés *szabályozásának eszközére.*" [41; 411.] Az utóbbi értelmezés tulajdonképpen az első, a „hagyományos" felfogás általánosítása, s ennélfogva magában foglalja azt, mégpedig oly módon, hogy a modellek két típusát lehet megkülönböztetni, az ún. belső modelleket és a külső modelleket [uo.]. Hasonlóképpen vélekedik N. M. Amoszov is: „A modellek két nagy csoportra oszlanak: *a)* modellek a természetes modellező rendszerekben — képmások és *b)* emberek által alkotott fizikai modellek." [1; 49] Jelen vizsgálódásunk szempontjából a „belső modell" fogalmának értelmezése a lényegesebb, ezért a továbbiakban — főként G. Klaus fejtegetései alapján — ezt elemezzük kissé behatóbban.

Klaus a „belső modell" fogalmát az információ fogalmával kapcsolja össze, véleménye szerint ugyanis az, hogy egy rendszer által kibocsátott jel információt hordoz-e egy másik rendszer számára vagy sem, attól függ, hogy az utóbbi rendszernek van-e olyan részstruktúrája, amely a környezet struktúrájával vagy ennek egy részével izomorf. Egy rendszer csak izomorf részstruktúrája, azaz „belső modell"-je segítségével képes kiválasztani a másik rendszerről érkező jel információtartalmát. Továbbá, „azt, hogy milyen behatások hordozzák az információt, milyen nagy a bizonyos hordozó jelek által átvitt információmennyiség és milyen annak a szemantikája, vagyis jelentése, elsősorban a belső modell struktúrájától, információtartalmától és kapcsolási kapacitásától függ". [40; 134] Steinbuch nézeteivel összhangban Klaus úgy véli, ha egy S_2 rendszer jeleket bocsát ki az S_1 rendszer felé, és ha az S_1 rendszernek nincs egy *M* „belső modell"-je, akkor „nem beszélhetünk arról, hogy ezek a jelek információk hordozói" [40; 328]. Ha ellenben az S_1 rendszernek van egy *M* modellje az S_2 rendszerről, akkor az S_2-ről érkező jelek lehetnek az S_2-re vonatkozó információk hordozói, nevezetesen akkor, ha „*M* felveszi, feldolgozza őket, és ily módon arra szolgálhatnak, hogy az S_2-ről való *M*

modellt tökéletesítsék, javítsák" [uo.]. Egy rendszer tehát csak abban az esetben képes a külvilágból származó információ felvételére, ha van a külvilág struktúrájával izomorf „belső modell'-je.[6] Ez a „belső modell" viszont nem más, mint a környezetre, a külvilágra vagy egy másik rendszerre (az S_2 rendszerre) vonatkozó előzetes ismeretek, tapasztalatok stb. összessége, a külvilág vagy az adott objektum képmása. G. Klaus felfogásában tehát, a „belső modell" fogalma egyértelműen *azonosul a képmás ismeretelméleti fogalmával*, s e fogalmakat teljesen szinonim értelemben használja. Így például, „belső modellel bíró rendszeren" olyan rendszert ért, „amelynek van egy képmás jellegű részstruktúrája" [40; 134]. E rendszerek három nagy típusát különbözteti meg: az embert, az élő szervezetek világát és a „belső modellel rendelkező automaták világát". A „belső modell" fogalma, értelmezésében, az állatoknál a tapasztalat fogalmával azonosul, míg az embernél „társadalmilag módosított tapasztalattároló szerepét játssza" [40; 385], azaz a külvilág tudati kémása. „Egy belső modell számunkra legfontosabb hordozója az ember, és *ezt a belső modelljét nevezzük tudatnak. Ez az a kép, amelyet az ember alkot a külvilágról.*" [40; 327, kiemelés tőlem — *K. A.*] Ennek következtében az ember minden tudati-pszichés tevékenysége modellezés, az ember magatartását a „ belső modell" vezérli.

Kissé eltér ettől J. Ponomarjov felfogása, aki a „modell" terminust elsődlegesen a képmás anyagi hordozójának megnevezésére használja. Ezen értelmezés szerint modellnek kell tekinteni *„minden olyan anyagi dolgot (vagy jelenséget)"*, *„amely tartalmazza valamely eredeti dolog másolatát"* [44; 40]. A modell ennek megfelelően a visszatükrözés folyamatában alakul ki akkor, amikor egy tárgy valamely oldala visszatükröződik egy másik tárgyban. „Az ilyen visszatükrözést hordozó tárgy tehát magában rejti egy másik tárgy meghatározott oldalának modelljét." [Uo.] Minthogy a visszatükrözés a dolgok közötti kölcsönhatás egy oldala, „a modell a dolgok kölcsönhatásának objektív terméke" [uo.]. Ilyen modellel nemcsak az ember, hanem az állatok is rendelkeznek, de csak „az ember képes kiemelni a modellből a másolatot", csak az ember esetében lesz az (eszmei) képmás hordozója. Maga a képmás nem más, mint „az agyi modell absztrakt módon jelen levő eszmei minősége" [44; 73], vagyis a modell tartalma. Ugyanakkor Ponomarjov felfogásában a modell a pszichikummal is azonosul, minthogy bizonyos vonatkozásban ez is a képmás hordozója, s ezért a pszichikum „az eredeti modelljeként szerepel" [44; 62]. Ponomarjov felfogásában, tehát a modell egyfelől a visszatükrözés folyamatában, a dolgok kölcsönhatásának eredményeként létrejövő objektív, anyagi képződmény, amely az embernél az eszmei képmás hordozója, másfelől maga az emberi pszichikum.

Ezt a felfogást alkalmazza Váriné Szilágyi Ibolya az érzékelés folyamatára, amennyiben az észleletet az objektum pszichikus modelljének tekinti. Az észlelet mint modell nemcsak a külvilág és a központi idegrendszer, hanem a

[6] Ezért Klaus úgy véli, hogy „azoknak a jeleknek, amelyeknek nincs kapcsolatuk M-mel, nincs jelentésük S_1 számára, ezek mentesek az információtól" [uo.]. Ha végigvisszük Klaus ezen álláspontját, kitűnik, hogy 1. az M „belső modell" nem alakulhat ki a külvilág (vagy az S_2) hatására, hanem az S_1 rendszerben eleve adott, a priori jellegű; 2. egy még ismeretlen objektum nem ismerhető meg, mert az erről származó jelek szükségképpen „mentesek az információtól". Ezzek kapcsolatban lásd: Kocsondi András: A kibernetikai modellek néhány gnoszeológiai sajátossága. Acta Philosophica, XI. Szeged 1970 (megjelenés alatt).

külvilág és a szubjektum kölcsönhatásának az eredménye, s nem más, mint „*az objektum eszmei reprodukálása, eszmei képmása*" [49; 1019]. Azonban nemcsak az észlelet a valóság pszichikus modellje, hanem minden pszichikus funkció s ezek valamennyi eredménye, azaz a külvilág visszatükröződése, általában az ember minden pszichikus tevékenysége azonosul a modellezéssel.

A másik álláspont képviselői éppen a modell és a képmás fogalmának azonosítása ellen lépnek fel, miközben abszolutizálva a közöttük levő különbségeket, tagadják a modell képmás jellegét. „A modell (a mi felfogásunkban) — írja A. A. Zinovjev és I. I. Revzin — csak az objektumra vonatkozó ismeretek (filozófiai értelemben képmások) szerzésének eszköze, de még nem maguk ezek az ismeretek." [10; 82—83.] A modell egyik leglényegesebb sajátossága valóban az, hogy az objektum megismerésének eszköze. Ennek alapján azonban nem lehet szembeállítani a képmással, mert egyrészt a megismerés valamennyi eredménye a megismerés további szakaszain az újabb ismeretek szerzésének eszközeként funkcionálhat, másrészt a modell is az objektumra vonatkozó ismeret vagy annak anyagi realizációja, még ha gyakran nem kellően igazolt, hipotetikus jellegű is. Ugyanakkor kétségtelenül az egyik lényeges különbség a modell és a képmás között abban található, hogy a modellnél elsődlegesen az eszköz-jelleg dominál, míg az általában vett képmásnál inkább a produktum-jelleg.

A modell és a képmás azonosítása ellen harcolva, B. A. Glinszkij nem egy lényeges különbségükre rámutat, s ezek alapján ő is úgy véli, hogy „a modell nem képmása az originálnak". Ez, szerinte, a modell-módszer természetéből következik, ugyanis modellezéshez akkor folyamodunk, „amikor még az objektum ezen oldaláról nincs képmásunk. Abban az esetben, amikor van az objektum bennünket érdeklő oldaláról képmásunk, a modell egyszerűen nem szükséges." [4: 29.] Ez az érvelés véleményünk szerint vitatható. Mindenekelőtt figyelembe kell venni, hogy az objektív valóságra, s ezen belül az egyes objektumokra vonatkozó ismereteink, képmásaink nagyon különböző szintűek lehetnek, s a megismerés folyamatában állandóan változnak, elmélyülnek, gazdagodnak, pontosabbá válnak. Nyilvánvaló, hogy az objektumról már a modellezés előtt is rendelkezünk bizonyos (általában még igen kezdetleges, pontatlan, hiányos stb.) képmással. A modellezés során ezt a képmást igyekszünk pontosabbá, megbízhatóbbá tenni, elmélyíteni, gazdagítani. E folyamatban a modell nemcsak az objektum megismerésének eszköze, hanem maga is az objektumra vonatkozó ismeretek adott rendszere, s az objektumot egyre pontosabban leíró modellek segítségével törekszünk a valóság adott tartományának egyre adekvátabb magyarázatára, végső soron a jelenségek adott körét egzakt módon leíró tudományos elmélet létrehozására. E folyamatban azonban nemcsak a tudományos elmélet, mint végeredmény, az objektum képmása, hanem azok a lépcsőfokok is, amelyeken keresztül eljutottunk ehhez az eredményhez, így többek közt az e folyamatban felhasznált modellek is, mint az objektumot adott szinten leíró ismeretek rendszerei.

Igen jelentős B. A. Glinszkij azon megállapítása, amely szerint a modell és a képmás közötti különbség az objektumhoz való viszonyukban nyilvánul meg. Az egyik lényeges különbséget abban látja, hogy a képmás mindig eszmei, a modell viszont lehet eszmei is és anyagi is. Továbbá, a képmás mindig a visszatükrözött objektum és a visszatükröző szubjektum közötti kölcsönhatás eredménye, azaz az objektum és a képmás viszonyára „a visszatükrözés folya-

matában az ok—okozati összefüggés" a jellemző. „Ezzel ellentétben a modellezés aktusában modellként szerepelhet olyan objektum, amely semmilyen formában nem áll ok—okozati viszonyban az originállal." [4; 30.] Több vonatkozásban egyetértve a fentiekkel, a következő megjegyzéseket tartjuk szükségesnek: A képmás fogalma legáltalánosabb, gnoszeológiai értelmében valóban feltételezi a visszatükrözött és a visszatükröző rendszer közötti közvetlen kapcsolatot, a képmás a visszatükrözött objektum hatására alakul ki, e hatást azonban nem lehet minden esetben ok—okozati összefüggésnek tekinteni, különösen a tudományos megismerés folyamatában nem. A modell és a képmás közötti különbség e vonatkozásban abban jelölhető meg, hogy a képmás arra az objektumra vagy az objektumok azon osztályára vonatkozik, amelyről végső soron tartalma származik. Ezzel ellentétben a modell fogalma nem tételezi fel a közte és a modellezett objektum közötti összefüggést, közöttük csak a megismerő szubjektum létesít „kapcsolatot", felelteti meg a modellt az objektummal. Ezért nem lehet egyetérteni Ponomarjov azon nézetével, hogy a modell a dolgok kölcsöhatásának objektív terméke.

A fentiek alapján Glinszkij úgy véli, mivel a modell nem az objektum hatására jön létre, ezért sem a megismerési folyamatba való bekapcsolódása előtt, sem a megismerés lezárulása után nem lehet az originál képmása; s ezért tagadja általában is a modell képmás jellegét. Ezzel az érvelésével, tulajdonképpen egyetértünk, hiszen a modell a megismerés folyamatán kívül nem függ össze az originállal, ezért nem lehet képmása sem (s ezért nem azonosítható többek közt a modell és a képmás). A megismerés folyamatán kívül azonban a fentiek szellemében modell sem létezik. Másként megfogalmazva, a fentiekből nem a modell képmás jellegének tagadása következik, hanem az, hogy a modell csak addig képmása az objektumnak, amíg modellként funkcionál. *A modellként fellépő objektum csak azért képmása az originálnak, mert rendelkezik a „modellnek lenni" tulajdonsággal, s csak annyiban rendelkezik e tulajdonsággal, amennyiben meghatározott módon és meghatározott vonatkozásban visszatükrözi a megismerés objektumát, amennyiben sajátos képmása.*

A fentiek mellett a modell és a képmás különbözik abban is, hogy visszatükrözési folyamat, amelynek sajátos formáihoz a képmás kapcsolódik, végbemehet a társadalmon kívül is, míg a modellezésről csak a társadalomban, az emberi megismerés folyamatában beszélünk. Ennélfogva nem értünk egyet azokkal a felfogásokkal, amelyek túl szélesen értelmezik a „modellezés szubjektumának" fogalmát. A modellezés „szubjektuma", véleményünk szerint, mindig az ember.

A modell fogalma azonban nem azonosítható az ember esetében sem a képmás, a tudat fogalmával, s nemcsak azért, mert a modellek lehetnek anyagiak is, a tudati képmás pedig eszmei. Lényeges különbség áll fenn a *tudati képmás* és az *eszmei modellek* között is. A visszatükrözési folyamatnak alapvetően három komponense különböztethető meg: 1. a visszatükrözés objektuma a maga totalitásában (így többek közt hatásaival egyetemben); 2. a visszatükrözés szubjektuma; és 3. a visszatükrözés eredménye, az embernél a tudati képmás. A modellezés folyamatában viszont a következő komponensek szerepelnek: 1. a megismerés tárgya, az originál; 2. az erre vonatkozó kijelentések összessége, vagyis tudati képmása; 3. az objektum eszmei modellje, amely elsődlegesen nem ennek, hanem valamely másik objektumnak a képmása; 4. a modellezés „szubjektuma", azaz maga a kutató (és anyagi modellek esetén ezek is önálló komponensként szerepelnek). Már ebből is látható, hogy a

modell és a gnoszeológiai értelemben vett képmás közötti leglényegesebb különbség abban áll, hogy a képmás a valóság ugyanazon tartományához tartozik, amelynek visszatükröződése (azaz a megismerés folyamatában a képmás segítségével a jelenségek azon körét magyarázzuk, amelyet visszatükröz); a modell viszont mint modell a valóság nem azon tartományához tartozik, amelynek visszatükröződése, hanem a jelenségek egy másik köréhez (vagyis a megismerés folyamatában a modell segítségével nem azt az objektumot tanulmányozzuk, amelynek visszatükröződése, hanem egy másik objektumot, amely meghatározott viszonyban áll az előbbi objektummal). Legyen A a jelenségek egy adott rendszere, A' — az A képmása, továbbá B a jelenségek egy másik, az A rendszerrel objektív megfelelési viszonyban levő rendszere, és B' a B képmása. Modellezésről akkor beszélünk, ha a B'-t nem a B rendszer, hanem az A rendszer tanulmányozására és leírására használják fel. Noha B' gnoszeológiai értelemben nem az A, hanem a B rendszer képmása, hogy gnoszeológiai funkcióit betölthesse (vagyis, hogy az A modellje lehessen), meg kell felelnie az A rendszernek is, sajátos módon „tükröznie" kell ezt is. E sajátos tükrözés azért valósulhat meg, mert az A rendszer és a B rendszer között objektív megfelelési viszony áll fenn.

Mindez mutatja azt, hogy egyrészt a modell valóban az originál sajátos képmása, másrészt a modell és a képmás között lényeges különbség található, s ezért nem lehet e fogalmakat azonosítani egymással.

*

A modell, tehát, egyfelől a megismerés objektumának sajátos képmása, másfelől megismerésének specifikus eszköze. A modell e két tulajdonsága szükségképpen feltételezi egymást: A modellként fellépő objektum, anyagilag reprodukálva, vagy eszmeileg visszatükrözve a megismerés objektumának bizonyos oldalait, képes helyettesíteni azt a kutatás folyamatában és ezáltal megismerését szolgálni. A fentiek összefoglalásaként a tudományos modell fogalmát a következőképpen határozhatjuk meg: *a* **modell** *olyan, a megismerés objektumát reprodukáló vagy visszatükröző, azzal objektív megfelelési viszonyban levő és a kutatás folyamatában azt helyettesítő anyagi vagy eszmei rendszer, amelynek tanulmányozása új információ szerzését teszi lehetővé magáról a megismerés objektumáról.*

E meghatározás eleve kizárja a „modell" terminus egy sor téves, pontatlan értelmezését, hiszen eszerint modellről csak a modellezés, vagyis a tudományos megismerés folyamatában beszélhetünk. Felvetődhet azonban a kérdés: Nem értelmezzük-e túl szűken a modell fogalmát? Nem fosztjuk-e meg a „modellnek lenni" tulajdonságától azokat a modelleket, amelyek a tudományos megismerés folyamatán kívül teljesítenek modell-funkciót? Nem zárjuk-e ki azokat a modelleket, amelyek nem tudományos-kutatási, hanem más jellegű, például gyakorlati-technikai vagy demonstrációs célokat szolgálnak? Minthogy a tudományos modellek lényegi sajátosságainak feltárását tekintettük feladatunknak, a vizsgálatból kétségtelenül kirekesztettük a tudományos megismerés folyamatán kívüli modellek sajátosságainak elemzését. Felfogásunkat mégsem tekintjük e vonatkozásban túl szűknek, ugyanis a gyakorlati-technikai, valamint az oktatási-demonstrációs feladatokat megvalósító modellekre is jellemzőek a fenti sajátosságok, ezek is egyfelől az objektum helyettesének funkcionálnak, másfelől pedig az ismeretszerzés, illetve az ismeretközlés esz-

közei, s így joggal tekinthetők e felfogás szerint is modelleknek. Ugyanakkor ez az értelmezés valóban „túl szűk" olyan vonatkozásban, hogy a modell fogalmát és megismerésben játszott szerepét a ténylegesnél szélesebben felfogó, illetve eltúlozó felfogásokat kizárja.

IV. A TUDOMÁNYOS MODELLEK OSZTÁLYOZÁSA

A modellezés gnoszeológiai sajátosságainak és funkcióinak elemzése megköveteli a modellek típusainak, s az egyes típusok sajátszerűségeinek részletesebb elemzését. Ezért a további vizsgálódás szempontjából igen jelentős a modellek pontos osztályozása, amely viszont nem kis mértékben az osztályozás alapjának kiválasztásától függ. Az osztályozás alapja igen különböző lehet, a modellezés bármely, a megismerés vagy a gyakorlat szempontjából lényeges tulajdonsága az osztályozás kiindulópontja lehet. Ezért az irodalomban a modellek igen sokféle osztályozásával találkozhatunk.

Általánosan elfogadott és széleskörűen elterjedt a nemzetközi irodalomban a modellek két nagy típusának — az *anyagi* (materiális) és az *eszmei* (ideális) modellek — megkülönböztetése. Ezen osztályozásnál a modellek felépítésének módját, természetét vesszük figyelembe, vagyis az anyagi és az eszmei modellek mindenekelőtt elemeikben és funkcionálásuk módjában különböznek egymástól: az anyagi modellek ugyanis objektíve léteznek s a külső valóság törvényei alapján funkcionálnak, míg az eszmei modellek, függetlenül attól, hogy objektíve kifejeződhetnek, csak a megismerő szubjektum fejében léteznek, s azon gondolati operációk következtében léteznek, amelyeket az elemüket képező elemi eszmei képmásokon, fogalmakon, kijelentéseken stb. a szubjektum végrehajt.

Az *anyagi modellek*hez tartoznak mindazok a modellek, amelyek — még ha a szubjektum tevékenységének eredményei is — objektíve léteznek, az anyag meghatározott mozgásformájához tartoznak, s e mozgásforma törvényei szerint léteznek és funkcionálnak. Az anyagi modelleknek négy csoportját vagy altípusát különböztetjük meg: *a)* geometriai; *b)* fizikai; *c)* matematikai; és *d)* kibernetikai modelleket. Az első csoportot az objektum térbeli ultajdonságait és viszonyait — általában kicsinyített vagy nagyított formában — reprodukáló, tehát a geometriai hasonlóságon alapuló modellek (pl. makettek, molekulák szerkezetét ábrázoló térbeli modellek a kémiában stb.) alkotják. Ezeket a modelleket gyakran a fizikai modellekhez sorolják (lásd pl. 4.), ez azonban nem indokolt. *A fizikai modellek*nél ugyanis nemcsak, s nem is elsősorban a modell és az originál geometriai hasonlóságát, hanem sokkal inkább fizikai természetük hasonlóságát veszik figyelembe. Az objektum és a modell közötti fizikai hasonlóság alapját gyakran a törvények invarianciája képezi s törvényszerűségeik azonos matematikai leírásában fejeződik ki, noha itt nem szükséges feltétel az objektum és a modell matematikai leírása, a fizikai modell alapulhat az objektummal való minőségi analógián is. Ezen altípushoz tartozó modellektől csak azt követelik meg, hogy belső természetük hasonlítson az originál természetéhez, azaz e modellek minden esetben ugyanahhoz az alapvető mozgásformához tartoznak, mint az objektum (például, elektromágneses jelenségek mechanikai, hidrodinamikai modelljei; mikrofizikai folyamatok makrofizikai modelljei stb.).

Az anyagi modellek harmadik altípusát a *matematikai modellek* képezik,

amelyek az előzőekhez hasonlóan anyagi konstrukciók,[7] de lényegesen különböznek is azoktól, minthogy egyrészt nem tételezik fel a modell és az originál fizikai természetének és geometriai viszonyainak hasonlóságát, másrészt megkövetelik a modell és az objektum törvényszerűségeinek azonos matematikai leírását. A matematikai modellek tehát nem tartoznak szükségképpen az objektummal azonos alapvető mozgásformához, illetve egyidejűleg anyagilag reprodukálják, „visszatükrözik" több, különböző mozgásformához tartozó jelenség bizonyos — főként mennyiségi és strukturális — összefüggéseit. Ide tartoznak a különböző analogikus modellek (pl. mechanikai, termodinamikai, biológiai, társadalmi, fiziológiai stb. folyamatok elektronikus modelljei).

A *kibernetikai modelleket* igen sok szerző a matematikai modellekhez sorolja. E modellek valóban nem egy sajátosságukban azonosak a matematikai modellekkel. Így a kibernetikai modelleknek is egyik jellemző vonása az, hogy egyidejűleg anyagilag[8] reprodukálhatják különböző mozgásformákhoz tartozó jelenségek meghatározott oldalait. A kibernetikai modelleknek azonban olyan sajátosságai is vannak, amelyek megkülönböztetik a matematikai modellektől. Mindenekelőtt a kibernetikai modellek a különböző mozgásformában végbemenő irányítási, vezérlési és szabályozási folyamatokkal kapcsolatosak. Továbbá, ezek a modellek a bonyolult dinamikus rendszerek viselkedésmódját, illetve e rendszereknek környezetükhöz való viszonyát fejezik ki. Minthogy a bonyolult rendszerek belső struktúrája igen gyakran még részben vagy egészben ismeretlen, e modellekre a funkcionális jelleg, s egyben az jellemző, hogy alapjukat a rendszerek funkciói közötti hasonlóság, izomorfia, vagy I. B. Novik kifejezésével élve az izofunkcionalizmus képezi. A kibernetika legjelentősebb (anyagi) modelljei az elektronikus számológépek, amelyek mint univerzális modellek valóban a legkülönbözőbb természetű jelenségek modellezésére alkalmazhatók. Ide tartoznak még természetesen az egyéb funkcionális kibernetikai berendezések, elektronikus állat-modellek stb. is.

Az *eszmei modelleknek* két (ill. három) altípusát lehet megkülönböztetni: a képmás- és a jelmodelleket (a harmadik altípust a vegyes modellek alkotják). A *képmás-modellek* (más terminológiában kép-, képzet-, ikonikus modellek) érzéki-szemléleti elemekből, elemi képmásokból épülnek fel oly módon, hogy elemeik s ezek egymáshoz való viszonya valamilyen formában analóg a modellezett objektum megfelelő elemeivel, illetve ezek viszonyával. A modell ezen elemei természetesen nem csupán a valóság közvetlen érzéki visszatükröződésének, hanem egyben az absztrakt gondolkodásnak is az eredményei (például, a Föld szerkezetének, vagy a Nap-rendszer struktúrájának tudományos elképzelése, képzete). Ugyanakkor, bár e modellek a tudományos megismerés produktumai, megőrzik szemléleti jellegüket, képmásszerűek. E modellekkel ellentétben a *jelmodellek* kevésbé szemléleti jellegűek, minthogy teljesen hiányzik elemeik, valamint az objektum megfelelő elemei közötti hasonlóság, amennyiben a jel fogalma nem tételezi fel a denotátummal való hasonlóságot. A jelek közötti viszonyoknak a modellen belül viszont meg kell felelniük a

[7] E modellek nem tévesztendők össze a matematikában alkalmazott modellekkel, amelyek természetükből adódóan az eszmei, ezen belül az ún. jelmodellekhez tartoznak.

[8] Természetszerűen itt nincs szó a kibernetika azon modelljeiről, amelyek az objektum eszmei visszatükröződései, tehát az elméleti kibernetika modelljeiről, amelyek értelemszerűen eszmei modellek. A kibernetikai modellek sajátszerűségeinek részletesebb elemzését lásd: Kocsondi András: A kibernetikai modellek néhány gnoszeológiai sajátossága. Acta Philosophica, XI. Szeged 1970 (megjelenés alatt).

valóság adott elemei és oldalai közötti viszonyoknak, s ennyiben beszélhetünk a jelmodellek szemléletességéről is. E modellekkel kapcsolatban ismételten utalni kell arra, hogy egy jelrendszer csak akkor modell, ha 1. meghatározott módon interpretálják (minthogy a jel is csak akkor tölti be funkcióját, ha meghatározott jelentés hordozója); 2. kutatás tárgyává válik, azaz ha más rendszerek tanulmányozására használják fel. A képmás-modellek és a jelmodellek bizonyos értelemben az eszmei modellek két szélső pólusát képviselik, amelyek között számos olyan modell található, amely kisebb vagy nagyobb mértékben mindkét altípus jellemző vonásaival rendelkezik. Ilyen vegyes típusú modelleknek tekinthetők, például a molekulák szerkezeti képletei a kémiában, amelyek egyfelől jelekből épülnek fel, másfelől viszont kifejezik a molekulát alkotó atomok térbeli viszonyait is.

A modellek osztályozása nemcsak egyes típusainak behatóbb vizsgálatát teszi lehetővé, hanem az egyes szaktudományokban alkalmazott modellek sajátosságainak, és általában a megismerési folyamatban játszott szerepüknek pontosabb megragadását is. A modellek gnoszeológiai funkcióinak részletesebb elemzése azonban megköveteli emellett a tudományos kutatásban elfoglalt helyüknek és más tudományos módszerekhez való viszonyuknak feltárását. Ezen elemzés azonban már újabb tanulmányok feladata.

IRODALOM

1. *Н. М. Амосов:* Моделирование мышления и психики, Киев, Изд-о Наукова думка 1965.
2. *И. Д. Андреев:* Пути и трудности познания, М., Изд-о Московский Рабочий 1968.
3. *А. Д. Вислобоков:* О диалектике процесса познания природы и кибернетика, МИ.,зд-о Мысль 1965.
4. *Б. А. Глинский—Б. С. Грязнов—Б. С. Дынин—Е. П. Никитин:* Моделирование как метод научного исследования, М., Изд-о Московский Университет 1965.
5. *В. М. Глушков:* Мышление и кибернетика; »Вопросы Философии», 1963/1.
6. *В. М. Глушков:* Гносеологическая природа информационного моделирования; «Вопросы Философии», 1963/10.
7. *Д. П. Горский:* Проблемы общей методологии наук и диалектической логики, М., Изд-о Мысль 1966.
8. *Б. С. Грязнов—Б. С. Дынин—Е. П. Никитин:* Гносеологические проблемы моделирования; «Вопросы Философии», 1967/2.
9. *Ю. П. Жданов:* Моделирование в органической химии; «Вопросы Философии», 1963/6.
10. *А. А. Зиновьев— И. И. Ревзин:* Логическая модель как средство научного исследования; «Вопросы Философии», 1960/1.
11. *А. Н. Кочергин:* Об обобщенном определении моделирования; «Философские Науки», 1967/6.
12. *И. Б. Новик:* Гносеологическая характеристика кибернетических моделей; «Вопросы Философии», 1963/8.
13. *И. Б. Новик:* О моделировании сложных систем (Философский Очерк), М., Изд-о Мысль 1965.
14. *И. Б. Новик—А. И. Уемов:* Моделирование и аналогия; «Материалистическая диалектика и методы естественных наук», М., Изд-о Наука 1968.
15. *Г. Л. Полисар:* Моделирование, М., Военное Изд-о 1963.
16. *П. Е. Сивоконь:* Методологические проблемы естественнонаучного эксперимента, М., Изд-о Московский Университет 1968.
17. *А. И. Уемов:* Индукция и аналогия, Иваново 1956.
18. *А. И. Уемов:* О принципе тождества; «Вопросы Философии», 1969/6.
19. *А. И. Уемов:* Аналогия и модель; «Вопросы философии», 1962/3.
20. *И. Т. Фролов:* Гносеологические проблемы моделирования биологических систем; «Вопросы Философии», 1962/3.

21. В. А. Штофф: К вопросу о роли модельных представлений в научном познании; «Ученные записки ЛГУ», 248, серия философских наук, вып. 13, 1958.
22. В. А. Штофф: Гносеологические функции модели; «Вопросы Философии,» 1961/12.
23. В. А. Штофф: О роли моделей в познании, Изд-о Ленинградский Университет 1963.
24. В. А. Штофф: Об особенностях модельного эксперимента; «Вопросы Философии», 1963/9.
25. В. А. Штофф: Моделирование и философия, М.—Л., Изд-о Наука 1966.
26. „A kibernetika filozófiai problémái" Budapest, Gondolat 1966.
27. Andorka Rudolf—Dányi Dezső—Martos Béla: „Dinamikus népgazdasági modellek" Budapest, Közgazdasági és Jogi 1967.
28. „A pszichológia új útjai". Szerk.: Dr. Lénárd F. Budapest, Gondolat 1967.
29. „Arzt und Philosophie" (F. Jung, G. Klaus, A. Methe, S. M. Rapoport), VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1961.
30. Bihari Ottó: „A szocialista államszervezet alkotmányos modelljei", Budapest, Közgazdasági és Jogi 1969.
31. Bíró Gábor: „Fenomenológia" és modell (...); „Magyar Filozófiai Szemle", 1965/5.
32. Bókay Béla—Kovács K. Pál: Analóg számológépek alkalmazásáról; „Magyar Tudomány", 1967/4.
33. Bóna Ervin: Analógia a természetben — analogikus következtetés a természettudományban; „Magyar Filozófiai Szemle", 1962/3.
34. L. Eisenbud—G. T. Garvey—E. P. Wigner: „Az atommag szerkezete", Budapest, Akadémiai 1969.
35. G. Frey: Symbolische und ikonische Modelle; „Synthese", 1960/2—3.
36. Gyarmati István—Sándor János: Axiómák és modellek szerepe a fizikai megismerésben; „Magyar Filozófiai Szemle", 1963/1.
37. L. B. Itelson: „Matematikai és kibernetikai módszerek a pedagógiában", Budapest, Tankönyvkiadó 1967.
38. G. Klaus: „Kybernetik in philosophischer Sicht", Dietz Verlag, Berlin 1961.
39. G. Klaus: „Kybernetik und Erkenntnistheorie", VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1966.
40. G. Klaus: „Kibernetika és társadalom", Budapest, Kossuth 1966.
41. G. Klaus: „Wörterbuch der Kybernetik", Dietz Verlag, Berlin 1967.
42. Neumann János: „Válogatott előadások és tanulmányok", Budapest, Közgazdasági és Jogi 1965.
43. Papp Ferenc: Nyelvi rendszer, közlési folyamat és ezek néhány matematikai modellje. „Általános Nyelvészeti Tanulmányok II." Budapest 1964.
44. J. Ponomarjov: „Pszihikum és intuíció", Budapest, Kossuth 1968.
45. A. Rosenblueth—N. Wiener: The Role of Models in Science; „Philosophy of Science" 1945/4.
46. Rovenszkij—Ujemova—Ujemov: „A gép és a gondolkodás", Budapest, Kossuth 1964.
47. Ruzsa Imre: „A matematika és a filozófia határán", Budapest, Gondolat 1968.
48. Székely Sándor: A kibernetika néhány filozófiai problémájáról; „Magyar Filozófiai Szemle", 1965/1.
49. Váriné Szilágyi Ibolya: Az emberi érzékelés ismeretelméleti értelmezéséről; „Magyar Filozófiai Szemle", 1969/6.
50. K. D. Wüstneck: Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs; „Deutsche Zeitschrift für Philosophie", 1963/12.
51. K. D. Wüstneck: Einige Gesetzmässigkeiten und Kategorien der wissenschaftlichen Modellmethode; „Deutsche Zeitschrift für Philosophie", 1966/12.