

A fizikai determinizmus¹

Z. AUGUSTYNEK

Ebben a tanulmányban kísérletet teszünk arra, hogy tisztázzuk a fizikai determinizmus elvének tartalmát. Pontosabban szólva, ennek az elvnek bizonyos, a fizikusok körében meglehetősen elterjedt megfogalmazásáról lesz szó, amely úgy hangzik, hogy minden izolált fizikai rendszer tetszőleges meghatározott állapota determinálja e rendszer későbbi állapotait. (Izolált rendszer = zárt rendszer. *Szerk. megj.*)

Az alapfogalmak, amelyekben ezt az elvet kifejezik — nevezetesen az elszigetelt rendszer, a rendszer állapota és a determináció fogalma —, nem túlságosan világosak, sőt egyikük-másikuk valóságos jelentéséről még gyakran heves viták folynak. Ezért kísérletünk elsősorban arra irányul, hogy definiáljuk az említett fogalmakat, mégpedig oly módon, hogy ezek a definíciók egyrészt lehetőleg pontosak legyenek, másrészt maximális mértékben megfeleljenek e fogalmak tényleges használatának, tehát nyelvilag is adekvátak legyenek. A munka első részét ennek a feladatnak szenteltük.

Ezeknek a főként szemantikai jellegű fejtegetéseknek az eredményei szolgálnak majd magának a determinizmus elvének pontos meghatározására, az empirikus nem-üresség feltételeit, valamint a determinizmus elvének verifikálhatóságát illető vizsgálatra, továbbá a determinizmus elve és az úgynevezett Maxwell-elv közötti viszony elemzésére, valamint a pontos előreláthatóság megalapozására. Ezenkívül röviden foglalkozunk a determinizmus elvének igazságértékével, amennyire ez az elv értelmével kapcsolatos. A fenti problémákra munkánk második részében kerül sor.

I. A determinizmus elvének fogalmi apparátusa.

1. A fizikai rendszer. Az elszigetelt rendszer

A determinizmus elve a bevezetésben említett értelemben az elszigetelt fizikai rendszerekre vonatkozik. Ezért feladatunk elsősorban éppen ezeknek a rendszereknek meghatározása. Az elszigetelt rendszer meghatározása előtt azonban jellemeznünk kell az általánosabb fogalom, nevezetesen a fizikai rendszer fogalmát. *Fizikai rendszeren* értünk általában minden anyagi tárgyat, amely fizikai tulajdonságok, vagyis a fizika által vizsgált vonások szubsztrátuma; más szóval: fizikai rendszer minden fizikai tulajdonságokkal rendelkező

¹ Kíváncsnak tartjuk, hogy a cikkhez olvasóink közül minél többen hozzászóljanak. *A szerkesztőség.*

tárgy. Ez általánosító és tautologikus meghatározás, de — véleményünk szerint — intuitíve találó. Mivel nem kétséges, hogy minden anyagi tárgynak van valamilyen fizikai tulajdonsága, amiben mindenekelőtt éppen a fizika egyetemessége jut kifejezésre, ezért nyilvánvaló, hogy minden anyagi tárgy a fenti értelemben vett fizikai rendszer. Így tehát kivételesen általános jellegű fogalommal állunk szemben.

A fizikai rendszer fent megadott meghatározása a kiindulópont a determinizmus problémakörében fontos két fogalom, a „nagy” és a „kis” fizikai rendszer jellemzésében. Ez kapcsolatban áll azzal, hogy a determinizmus elvének két változata van. Az első, holisztikusnak nevezett változatban ez az elv a nagy rendszerre vonatkozik, a második, disztributívnek nevezett változatban a kis rendszerekre.

Nagy fizikai rendszeren az anyagi világot, a világmindenséget értjük. A fizikai tulajdonságok a világot mint egészet jellemzik, és nem csupán egyes részeit. A nagy rendszer térbelileg határtalan: az egész fizikai teret betölti, vagyis nincs térbeli környezete. Ez a jellemzője, amely az általános relativitáselméletben jut kifejezésre, természetesen nem függ attól, hogy a fizikai tér ténylegesen végtelen vagy véges.

Kis fizikai rendszeren a világegyetemnek mindazon tetszőleges olyan részeit értjük, amelyeket természetes vagy kísérleti úton különítettek el tőle. A kis rendszer térelileg határolt: a fizikai térnek csak egy részét tölti be, vagyis van térbeli környezete. Magától értetődik, hogy nagy rendszer egyetlen egy van, kis rendszer viszont végtelen sok.

Mivel elemzésünk központi tárgya a determinizmus disztributív elve lesz, ezért mindenekelőtt a kis rendszerekkel foglalkozunk. Ezek a rendszerek gyakran lényegesen különböznek egymástól. Gondolatmenetünkben legalább két általános osztályozásuk szerepel: a makro- és mikro-rendszerekre való felosztás, valamint a diszkrét és folytonos rendszerekre való felosztás.

A *mikrorendszerek*hez azok az objektumok tartoznak, amelyeknek tömeg- és térbeli méreteik bizonyos — egyébként nem éles — határon alul vannak; ide tartoznak a molekulák, az atomok, az „elemi” részecskék, valamint a kisméretű atomból, molekulából vagy részecskéből álló rendszerek. A *makrorendszerek*hez tartoznak az olyan objektumok, amelyek túllépik a fenti tömeg- és térbeli határt; ezek környezetünk konkrét testei, amelyeknek koncentrátsági állapotai különbözők, valamint a belőlük összetett rendszerek és a fizikai mezők elégségesen nagy részei.

Diszkrét rendszereknek nevezzük azokat a rendszereket, amelyek nem töltik ki az általuk elfoglalt határolt térrész összes pontjait. Ezek egymástól térbelileg elválasztott részekből összetett makrorendszerek és mikrorendszerek. *Folytonos* rendszereknek nevezzük viszont azokat, amelyek az általuk elfoglalt határolt térrész összes pontjait kitöltik, kivéve legfeljebb néhány, különlegesnek nevezett pontot. Ilyen jellegűek mindenekelőtt a fizikai mezők meghatározott zárt felületek által különválasztott részei. Könnyen beláthatjuk, hogy a fenti osztályozás természetesen feltételezi a fizikai mező folytonos struktúráját.

Mint a fentiekből következik, csak a fizikai mezők térbelileg határolt részei kis rendszerek. Ezek a mezők viszont egészükben felfogva az egész fizikai teret betöltik; tehát ex definitione nem kis rendszerek. Ezzel kapcsolatosan felmerül a kérdés, milyen viszony van a mezők mint egészek és a mindenség között, hiszen — a világegyetemhez hasonlóan — az egész fizikai teret elfoglal-

ják. Úgy véljük, hogy az anyagi világ reális és meghatározott aspektusainak, a világegyetem aspektusainak kell őket tekintenünk, ám a tulajdonságaik tekintetében sokkal szegényebbek a világegyetemenél.

Bizonyos fizikai elméletek olyan fogalmakkal dolgoznak, mint „anyagi pont”, „anyagi pontok rendszere”, „abszolút merev test” stb. Úgy tűnik, hogy ezeknek az elméleteknek a tézisei az ilyen fogalmak deszignátumaira vonatkoznak. Holott a tapasztalatból tudjuk, hogy nincsenek sem anyagi pontok, vagyis térbeli dimenzió nélküli objektumok, sem abszolút merev, vagyis nem deformálódó testek. Ezek tehát *absztrakt* rendszerek, melyek a valóságban nem léteznek, hanem gondolati úton konstruálták őket a *reális*, konkrét rendszerekből mint ezek idealizálását. Ezeknek az absztrakcióknak azonban jelentős megismerési értékük van, mivel meghatározott fizikai körülmények között a meghatározott pontossági fokkal vizsgált reális rendszereket a fent említett absztrakciókként kezelhetjük, s ennek következtében leegyszerűsítjük viselkedésük leírását. Így például a naprendszerünk testeinek között levő nagy távolságok miatt a naprendszert anyagi pontok rendszerének tekinthetjük, tekintet nélkül e testek nagy térbeli méreteire. Ebből az következik, hogy a fent említett absztrakt rendszerekre vonatkozó elméletek, tehát az olyan elméletek, mint a pontok mechanikája, a merev testek mechanikája stb., ténylegesen reális rendszerekre vonatkoznak. A megfelelő idealizáló fogalmaknak tehát valóságos deszignátumaik vannak.

Ezután áttérhetünk annak a kérdésnek vizsgálatára, hogy miből áll egy rendszer izolált volta, s ez milyen feltételek közepette bizonyul lehetségesnek. A determinizmus elvét ugyanis az itt elfogadott megfogalmazásban nem minden fizikai rendszerre, hanem csak az elszigetelt rendszerekre alkalmazzuk.

A rendszert jellemző fizikai tulajdonságok között két csoportot különböztethetünk meg. Az elsőbe azokat a tulajdonságokat soroljuk, amelyek nem változnak az időben, természetesen csak addig, amíg megmarad a rendszer azonossága; ezeket a tulajdonságokat a *rendszer állandóinak* nevezzük. A második csoportba tartoznak a változó tulajdonságok, ezeket nevezzük a *rendszer változóinak*. Ezek jellemzik a rendszer változását, időbeli fejlődését. Így például az anyagi pontok klasszikus rendszerében a rendszer állandói ezeknek a pontoknak tömegei, a változók pedig: a pontok helyzetei, a sebességek stb.

Minden kis fizikai objektum többé-kevésbé *kölcsönhatásban* van más objektumokkal, dinamikusán összekapcsolódik velük. Ezek a hatások különböző természetűek lehetnek, a legalapvetőbbek közé tartoznak a gravitációs, az elektromágneses és a nukleáris hatások. Az adott kis rendszer számára ezek a hatások lehetnek belsők vagy külsők. *Belső* hatásoknak azokat nevezzük, amelyek a rendszer részei között állnak fenn, tehát forrásuk magában a rendszerben rejlik; itt természetesen feltételezzük, hogy a rendszer részekből áll. *Külső* hatásoknak viszont azokat nevezzük, amelyek az adott rendszer és a környezetéhez tartozó más objektumok között állnak fenn, amelyek forrása tehát a rendszeren kívül van. Így például anyagi pontok meghatározott rendszerére vonatkoztatva belsők a maguk a pontok közti hatások, külsők pedig az egész rendszer és a környezetben levő rendszerek közötti hatások. Ez a felosztás természetesen viszonylagos, mindig valamely meghatározott rendszerre vonatkozik.

A fizikai rendszer belső és külső hatásai szabják meg a rendszer időbeli fejlődését, vagyis azon fizikai tulajdonságainak változását, amelyeket fentebb

a rendszer változóinak neveztünk. A hatások tehát a rendszer változásainak tényezőit jelentik. Így például a rendszer anyagi pontjai közötti hatások, valamint az ezekre a pontokra irányuló esetleges külső hatások szabják meg a rendszer anyagi pontjainak helyzetében, sebességében stb. bekövetkező változásokat; a példákat természetesen még szaporíthatnánk.

A rendszerrel kapcsolatos hatások fogalmán, valamint a külső és a belső hatásokra való felosztáson alapul a rendszer izoláltságának definíciója. Elszigetelt vagy zárt fizikai *rendszeren* olyan rendszert értünk, amely nincs kölcsönhatásban térbeli környezetének objektumaival, azaz nem lép semmilyen, ön-maga szempontjából külső kölcsönhatásba. Az elszigetelt rendszert jellemző összes változó tulajdonságok evolúcióját kizárólag a rendszer belső hatásai szabják meg; az ilyen rendszer időbeli fejlődését tehát teljes mértékben meg-szabják a rendszer részei között végbemenő kölcsönhatások. Az elszigetelt rendszer ellentéte a *nyílt rendszer*, vagyis az olyan rendszer, amely kölcsönhatásban van térbeli környezetének objektumaival, azaz a maga szempontjából külső kölcsönhatásokba lép. A nyílt rendszert jellemző változó tulajdonságok ugyancsak belső és külső hatások befolyására fejlődnek.

Az elszigetelt rendszert esetenként kevésbé szigorúan is definiálják: mint olyan rendszert, amely bizonyos külső kölcsönhatásokban nem vesz részt, viszont másokban igen, tehát csupán *viszonylag*, azaz csak bizonyos hatásokat illetően elszigetelt. Ennek a meghatározásnak csak akkor van értelme, ha a rendszernek bizonyos, bennünket érdeklő tulajdonságai teljesen vagy nagy mértékben függetlenek azoktól a tulajdonságoktól, amelyek a ténylegesen előforduló külső hatások befolyására változnak. Ellenkező esetben ugyanis a rendszer még viszonylagosan sem elszigetelt.

Itt hangsúlyoznunk kell, hogy a viszonylag elszigetelt rendszerekre nem vonatkozik az összenergia megmaradásának elve, legfeljebb az ilyen vagy amolyan energiaformák megmaradásának elve. Mindenekelőtt éppen azért választjuk itt az elszigetelt rendszer szigorúbb definícióját, amely szerint az elszigetelt rendszerben nem fordulhat elő semmilyen külső hatás, vagyis azt a definíciót, amelyet a megmaradási elvek megfogalmazásakor használnak. A determinizmus problémakörével kapcsolatos további fejtegetéseinkben az elszigetelt rendszernek kizárólag ezt a definícióját használjuk.

Az elszigetelt rendszert meghatározhatjuk a fentitől eltérő módon is, ez azonban nem vezet a fogalom körének megváltozásához. Az ilyen meghatározás lehetősége a hatás és energia közötti szoros kapcsolaton alapul. Mivel minden fizikai hatás térbeli helyváltoztatással, energia szállításával kapcsolatos, az általános esetben — a rendszer részei, valamint a rendszer és környezete között — a külső hatás alatt álló rendszer a környezetéből energiát vesz fel, vagy annak energiát ad le, azaz más szóval: energiát cserél környezetével. Ezen az alapon az elszigetelt rendszert úgy definiálhatjuk, mint olyan rendszert, amely nem cserél energiát a környezetével. Nyílt rendszer viszont az, amely ilyen energiacsere-t lebonyolít. Könnyen beláthatjuk, hogy ez az új, „energetikai” definíció egyértelmű az előbbivel, ugyanis a hatás és energia közötti említett kapcsolat miatt az a rendszer, amely „energetikai” értelemben elszigetelt, „dinamikus” értelemben is az, és megfordítva.

Tudjuk, hogy az összenergia megmaradásának elve csak az elszigetelt rendszerekre vonatkozik, és úgy hangzik, hogy az energia összértéke, vagyis az energia minden formájának együttes értéke állandó. Ezt az energiát a rendszer belső hatásai határozzák meg. Az elszigetelt rendszer energetikai meghatá-

rozása nyomban felvetheti a kérdést, vajon az energia elvének fenti megfogalmazása nem tautológia-e.

Ez az ellenvetés azonban alaptalan. A fenti meghatározás értelmében az említett elv csak látszólag tautologikus. Empirikusan nyilvánvaló, hogy ha valamely rendszer nyílt, vagyis energiát cserél környezetével — energiát vesz fel vagy ad le —, akkor energiája nem állandó, kivéve azt az igen specifikus esetet, amikor az energiacsere azonos időben egyenlő értékű. Ebből bizonyos esetekben arra a következtetésre jutunk, hogy ha a rendszer elszigetelt, azaz nem cserél energiát a környezetével, akkor energiája állandó. Ha ez a következtetés helyes lenne, akkor az energia megmaradásának elve a fenti megfogalmazásban tautológia lenne, mivel a fenti következtetés az elszigetelt rendszer definíciójába bekapcsolja a rendszer energiájának állandóságát. Az említett következtetés azonban logikailag helytelen, ezért el kell vetni azt az eredményt is, amelyhez vezet. A tételből, amelyből levezették, csak az következik, hogy ha a rendszer energiája állandó, akkor a rendszer elszigetelt vagy — a fenti specifikus esetben — nyílt, de energiacsereje ekvivalens. Az energia megmaradásának elve a fenti megállapítás fordítottja, és nem tautológia. Ugyanis csak a tapasztalat tájékoztathat bennünket arról, hogy az elszigetelt rendszer energiája állandó.

Mindezek a fejtegetések egyben azt is mutatják, hogy az elszigetelt rendszer definíciójában nem hivatkozhatunk az energia állandóságára az ilyen rendszerben; az energia megmaradásának elve ezt mondja ki, ellenkező esetben ugyanis ez az elv tautológia. Ezt a feltételt természetesen teljesíti mind a hatás fogalmával kapcsolatos dinamikus meghatározás, mind pedig az elszigetelt rendszer általunk megadott energetikai meghatározása.

Mellékesen meg kell említenünk egyes szerzők, pl. Margenau² olyan tendenciáját, hogy az elszigetelt rendszert az állapotai közötti determinációs viszony fogalmának segítségével definiálják. Ez azonban nemcsak hogy nem felel meg az elszigetelt rendszer fogalma szokásos használatának, hanem arra vezet, hogy a determinizmus elve ebben a megfogalmazásban — s ezt könnyen kimutathatjuk — tautológiává válik. Az elszigetelt rendszer definíciójának tehát függetlennek kell lennie a determináció fogalmától is. A fenti meghatározások természetesen megfelelnek ennek a feltételnek.

Ezután vizsgáljuk meg annak a lehetőségét, hogy a fizikai rendszerek különböző típusait elszigeteljük, valamint ennek az elszigetelésnek a feltételeit. Az anyagi világ, a fizikai *univerzum* az elszigeteltség definíciójából következően szigorú értelemben vett elszigetelt rendszer: mivel nincs térbeli környezete, ezért nem lép és nem is léphet semmiféle kölcsönhatásba vele. Egyesek, például Pap³ tagadják, hogy ennek a megállapításnak értelme lenne. Véleményük szerint az elszigeteltség fogalma egyáltalán nem alkalmazható az univerzumra mint térbeli környezet nélküli rendszerre, ugyanis nincs semmi, amitől a világ izolált lenne. Úgy véljük, hogy ez az ellenvetés az elszigetelt rendszer igen különleges értelmezéséből származik: eszerint az elszigetelt rendszer olyan rendszer, amelynek van ugyan környezete, de nincs vele kölcsönhatásban. Semmi sem kényszerít azonban bennünket arra, hogy elfogadjuk az elszigeteltség fogalmának ezt az értelmezését, amelyet kizárólag a kis rendszerek számára dolgoztak ki. Ezen kívül a determinizmus disztributív elvének szempontjából,

² Margenau, H., Lindsay, R. B.: Foundations of Physics. New York, 1956. 525. o.

³ Pap, A.: The A Priori in Physical Theory. New York, 1946. 82. o.

amely a kis elszigetelt rendszerekre vonatkozik, a problémának nincs jelentősége.

Minden reális kis fizikai rendszer kölcsönhatásban áll a környezetével. Ezek a hatások azonban valamely időszakban erősebbek vagy gyengébbek lehetnek. Specifikus körülmények között a kis rendszerek rövidebb-hosszabb időn keresztül izoláltak lehetnek. Ezek a feltételek általánosságba véve arra redukálódnak, hogy a rendszer természetes vagy kísérleti úton izolálódik a külső hatásoktól.

A diszkrét makrorendszerek és bizonyos mértékig a mikrorendszerek vonatkozásában is a természetes jellegű — és kísérletileg is alkalmazott — szigetelő szerepét játssza a rendszer térbeli távolsága környezetének azoktól az objektumaitól, amelyek külső hatások forrásai. A fizikai hatások intenzitása ugyanis a hatások forrásától való távolság növekedésével csökken, méghozzá eléggé gyorsan, ez minden hatásra vonatkozik, s a nekik megfelelő fizikai törvényekben, pl. a gravitáció törvényében, a Columb-törvényben stb. jut kifejezésre. Ezzel kapcsolatosan a hatások intenzitása „a végtelenben” eltűnik.

Ha tehát a kis rendszer végtelen távol van a külső hatások forrásaitól, akkor *teljesen* elszigetelt, nincs kölcsönhatásban a környezetével. Ez azonban határeset. A valóságban, különösen a kutatási gyakorlatban, a rendszerek közti távolságok végesek, s ezért izoláltságuk sohasem lehet teljes. Lehet azonban *megközelítő*, méghozzá igen nagy fokban. Ez akkor fordul elő, ha a rendszer a hozzá képest külső hatások forrásaitól „eléggé” távol van, vagyis olyan távol, hogy e hatások a rendszer fejlődésére igen csekély, gyakorlatilag elhanyagolható befolyással vannak. A megközelítő izoláltság tehát azt jelenti, hogy a rendszer igen gyenge kölcsönhatásban van a környezetével. Emellett még megjegyezzük, hogy a rendszer elszigeteltségének foka, vagyis a külső hatások gyengesége, nemcsak a távolságtól, hanem a hatások forrásainak erősségétől, a hatások típusától, valamint magának a rendszernek bizonyos vonásaitól is függ. Ha e források erőssége nem nagy, és a megfelelő hatások intenzitása a távolsággal párhuzamosan erősen csökken, akkor az „elégséges” távolságnak nem kell túlságosan nagynak lennie ahhoz, hogy a rendszert nagyfokú megközelítéssel elszigeteltnek tekintsük.

Bonyolultabb az a kérdés, miként lehet a diszkrét *mikrorendszereket* elszigetelni. Ez két ténnyel függ össze. Először, jóllehet a gyenge külső hatások a makrorendszerekre minimális hatással vannak, a mikroobjektumokra viszont lényegbevágó hatást gyakorolnak, zavarják fejlődésüket. Ezeket a rendszereket az jellemzi, hogy nagyon érzékenyek a csekély intenzitású hatásokra, természetesen az olyanokra, amelyek a mikrovilágban szerepet játszanak, tehát az elektromágneses és a nukleáris hatásokra. Másodszor, miként a kvantumtechnika feltárta, e hatások intenzitása nem lehet tetszőlegesen kicsi, mivel az energia véges kvantumokban cserélődik ki. Mindkét tény megnehezíti az elszigetelt rendszer fogalmának alkalmazását a mikrofizikában. Mindemellett a megközelítő elszigeteltség itt sem kizárt. A probléma alapos elemzést igényel; ezt azonban itt nem végezhetjük el.

Végül, vizsgáljuk meg a *folytonos* jellegű kis rendszereknek, vagyis a fizikai mező részeinek izolálhatóságát. Az ilyen típusú rendszert elvben csak kísérleti módon lehet elszigetelni a főképpen a tér többi részeiből származó külső hatások befolyásától. Az itt alkalmazott módszer abban áll, hogy a térből szár-

mazó hatások számára áthatolhatatlan ernyőt helyeznek a térrészt határoló, vagyis a rendszert a tér többi részétől elválasztó zárt felületre. Tulajdonképpen csak az ilyen ernyő választja külön fizikailag a tér meghatározott területét azáltal, hogy kísérletileg folytonos kis rendszert hoz létre. Ily módon „bezárható” egy tükröző falu dobozban, például az elektromágneses mező egy része. Világos, hogy a rendszer ilyen módszerrel kapott elszigetelése csak megközelítő — habár nagymértékben megközelítő — lehet, de sohasem teljes, mivel nincsenek abszolút áthatolhatatlan ernyők. E módszer alkalmazása elvi nehézségekbe ütközik a gravitációs mezők részeit illetően. A gravitációs hatások ugyanis lényegileg minden ernyőn áthatolnak; az ernyőzés eredményei ezen a területen igen gyengék. Ezért — legalábbis egyelőre — az ilyen rendszerek izolálására még megközelítőleg sincs mód.

A kis rendszer elszigeteltsége csak bizonyos, rövidebb vagy hosszabb, de mindig véges időn keresztül tarthat. Ez mindenekelőtt azzal a ténnyel kapcsolatos, hogy a rendszer és környezet közötti kölcsönhatások intenzitása időbelileg változik. Így például a rendszer közelebb kerülhet a hatások forrásához, vagy az ernyő jelentősen veszíthet az áthatolhatatlanságból, esetleg eltávolíthatják az ernyőt. Így tehát a rendszer elszigeteltsége *időbelileg* viszonylagos. Azt az időszakot, amelyben az adott rendszer izolált, illetve amíg ilyennek tekinthetjük, a rendszer zártsága vagy elszigeteltsége intervallumának fogjuk nevezni.

A végzett elemzés azt mutatja, hogy a kis fizikai rendszerek a teljes, abszolút elszigeteltségnek az állapotát, amelyről az elszigetelt rendszer definíciójában szó van, a valóságban csak megközelítik — méghozzá csak igen bonyolult fizikai körülmények között és csak véges ideig. Ez azt a kétséget kelti, vajon az elszigeteltség fogalma a kis rendszerre vonatkoztatva nem pusztán fikció-e, s ennek következtében nem kellene-e lemondani róla. A probléma átfogóbb megvitatását későbbre halasztjuk, s most csupán annyit jegyzünk meg, hogy — véleményünk szerint — a kis elszigetelt rendszer fogalma mint *határfogalom* a fizikában teljesen jogosult; az ilyen jellegű fizikai fogalmak nagyobb családjába tartozik.

2. Az állapotváltozók. A rendszer állapota

Minden fizikai rendszert, különösen az elszigetelt rendszert meghatározott változó és állandó tulajdonságok együttese jellemez. Mint fizikai tulajdonságok, ezek metrikus, mennyiségi jellegűek. Ez azt jelenti, hogy olyan nagyságok, amelyek — ugyanazon az objektumon különböző időpontokban, vagy különböző objektumokon egyidejűleg — különböző *értékeket* vesznek fel. A nagyságokat számszerű változóknak tekintjük, és meghatározott értékeik mellé meghatározott számokat rendelhetünk. A fizikai rendszer változói tehát olyan nagyságok, amelyek időbelileg meghatározott, a megfelelő elmélet által megállapított, számszerűen kifejezhető értékeik együttesén mennek keresztül. Az adott rendszer állandói viszont bizonyos más nagyságok konkrét, csakis az ő és másolatai számára specifikus értékei. Itt nagyságokról beszélünk, ugyanis ezek vagy változók különböző azonos típusú rendszerek együttesében, bennük meghatározott állandó értékeket feltételezve, pl. az anyagi pontok össztömegét különböző rendszerekben, vagy pedig egyszerűen változók különböző típusú rendszerekben, például az összenergia a nyílt rend-

szerekben, ellentétben a zárt rendszerekkel, ahol az energia értéke megmarad.

A fenti megállapítások alapján bevezethetünk a további fejtegetéseink szempontjából néhány igen szükséges fogalmat. Ha a rendszer összes változóinak együttesét vagy tetszőleges alcsoportjukat vesszük figyelembe, akkor ezen együttes vagy alcsoport *időbeli keresztmetszetének* nevezzük ezen együttes változó egyidejűleg meghatározott pillanatnyi értékeinek együttesét. A változók együttesének konkrét keresztmetszete mindig valamely meghatározott időpontra vonatkoztatott; a különböző időpontoknak megfelelő keresztmetszetek általában a változók különböző értékeinek együttese, bár ha a rendszer változásai periodikusak, akkor lehetséges, hogy a különböző időpontoknak megfelelő keresztmetszetek a rendszer változóinak ugyanazon értékeinek együtteseinek legyenek.

Semmilyen konkrét fizikai elmélet nem vizsgálja az adott típusú fizikai rendszerek összes fizikai tulajdonságait. Mindegyik ilyen elmélet kizárólag ezeknek a tulajdonságoknak meghatározott együttesével foglalkozik, amely részben különbözik a más elméletek vizsgálta együttestől, tehát egyszersmind elvonatkoztat a többi tulajdonság vizsgálatától. Ez arra késztet bennünket, hogy meghatározott elmélet értelmében operáljunk a fizikai rendszer fogalmával; ezt a rendszert kizárólag azok a tulajdonságai képviselik, amelyek a meghatározott elméletet érdeklik.

Ily módon a determinizmus problematikájának vonatkozásában kulcsfontú jelentőségű fogalmakhoz jutunk, nevezetesen az állapotváltozók és a rendszer állapotának fogalmához. Jóllehet ezek a fogalmak nagy jelentőségűek, egyébként nemcsak a determinizmus elvének pontosabb megfogalmazása szempontjából, a fizikusok mégis többnyire csak számítás útján határozzák meg őket, mondván, a konkrét elméletek által leírt meghatározott fizikai rendszerek változóinak ilyen és ilyen együttese az ezen rendszerek állapotváltozóinak együtteseit, időbeli keresztmetszeteik pedig a kérdéses rendszerek állapotait képviselik. Elméleti szempontból ez a helyzet semmiképpen sem kielégítő, és nincs mit csodálkoznunk, hogy a fizika metodológusai — bár sajnos ritkán és mellékesen — igyekezzenek a tárgyalt fogalmak értelmét általánosan, nemcsak számítás útján, definiálni. E tárgy szűkös irodalmában legalább három, különbözőképpen megragadott definícióval találkozhatunk. Csak az kapcsolja össze őket, hogy a rendszer állapotváltozóinak fogalmát a fent említett szempontból a rendszert vizsgáló meghatározott fizikai elméletre relativizálják.

Az első, általános, expliciten sehol ki nem fejezett felfogás a rendszer állapotváltozóinak együttesét azonosítja a rendszernek az adott elmélet által vizsgált összes változóinak együttesével. Ezzel a felfogással éles ellentétben áll a másik két definíciós kísérlet; ezek szerint az állapotváltozó együttese a változók bizonyos kicsiny alcsoportja, amelyet az adott elmélet különített el a rendszer összes vizsgált változóinak együtteséből. Ez a szembeállítás főképpen abból származik, hogy az első felfogás nyilvánvalóan összeütközésbe kerül azzal a móddal, ahogyan a fizikusok használják az állapotváltozó fogalmát. A fizikusok ugyanis az állapotnak csak az adott elmélet által vizsgált egyes változóit nevezik a rendszer állapotváltozóinak, más változóknak nem tulajdonítanak ilyen jelleget. Ez fontos szempont, mellyel számolnunk kell, midőn megkíséréljük megállapítani az állapotváltozóinak analitikus, nem önkényes definícióját. Ezt két további koncepció veszi figyelembe.

Az első, legpontosabban megfogalmazott, Plancktól⁴ származik, és sok szerző — Frank⁵, Fok⁶, Margenau⁷, Pap⁸ stb. —, általában Planckra hivatkozva, határozottan egyetért vele. A rendszer állapotváltozóinak együttesén a rendszer változóinak olyan alcsoportját értik, amely alcsoportnak bármely meghatározott időbeli keresztmetszete meghatározza az alcsoport minden keresztmetszetét; a rendszer állapotainak viszont az illető rendszer állapotváltozóinak együttesének időbeli keresztmetszeteit tekintik. Tehát az adott elmélet által vizsgált összes változók együttesének időbeli keresztmetszetei között fennálló determinációs viszony az, ami kiemeli a rendszer állapotváltozóinak együttesét az illető együttesből. A rendszer állapotváltozóiról kialakított fogalom Planck-féle definíciója tehát a determináció fogalmától függ. Ez számos következményt implicál, amelyekkel — úgy véljük — nehéz egyetérteni.

Először is ez a definíció arra vezet, hogy az állapot és az állapotváltozók fogalmát nem alkalmazzuk a nyílt rendszerekre, mivel az ilyen rendszerek bármely változóinak keresztmetszetei között nincs determinációs viszony; az ilyen rendszerek ugyanis nem fejlődnek egyértelmű, determinisztikus módon. A nyílt rendszernek tehát nincsenek állapotváltozóinak és állapotai. Ez azonban ellentétben áll azokkal az igen gyakori megfogalmazásokkal, amelyekben kifejezetten a nyílt rendszerek állapotairól beszélnek; ezért az ilyen esetekben nem is felelnek meg e fogalom használatának.

Másodszor — s ez még fontosabb — az állapotváltozók fogalma a fent említett értelemben nem alkalmazható az olyan elszigetelt rendszerekre, amelyekben ténylegesen semmilyen változó sem viselkedik determinisztikusan, hanem például valószínűségi változóként, s — az indeterministák véleménye szerint — éppen ilyen esetek fordulnak elő. Ekkor szintén nem mondhatjuk, hogy a rendszernek vannak állapotváltozóinak, tehát állapotai is. Ez a következtetés szintén nem felel meg azoknak az intuíciónak, amelyek rendes körülmények között a rendszer változóinak fogalmának jelentésével kapcsolatosak.

Harmadszor, a vitatott definíció alapján a determinizmus elve, amelyet az állapot fogalmának segítségével fogalmaztak meg, s amely kimondja, hogy az elszigetelt rendszer állapotai között a determináció viszonya áll fenn, tautológia lesz, ugyanis az állapotokat éppen ez a viszony határozza meg; ennek az elvnek a tagadása tehát ellentmondásos tétellé, analitikus tévedéssé válik. Ezt különben a fenti definíció hívei, például Margenau, Pap és mások maguk is hangsúlyozzák. Ezt az implikációt természetesen el lehet kerülni, ha a determinizmus elvét úgy fogalmazzuk át, hogy ne forduljon elő benne az állapot fogalma. Ezt azonban senki sem teszi meg. Ha tehát a determinizmus elvének nem-tautologikus, empirikus jelleget tulajdonítunk, akkor benne az állapot fogalmát szemmel láthatóan Plancktól eltérő módon értelmezzük.

A fent kifejtettek arra késztetnek, hogy elvessük az említett definíciót, mivel nagymértékben önkényes, és nem adja vissza az állapotváltozók fogalmának ténylegesen használt jelentését. A helyes, analitikus definíciónak legalább elvben meg kell egyeznie az intuíciókkal, tehát a többi között — mint

⁴ Planck, M.: Acht Vorlesungen über theoretische Physik. Lipcse, 1910. 47. o.

⁵ Frank, Ph.: Kausalgesetz und seine Grenzen. Bécs, 1932. 145—146. o.

⁶ Fok, V. A.: A tér, az idő és a gravitáció elmélete. Moszkva, 1955. 129—130. o.

⁷ Margenau, H.: a) Id. mű 526. o.; b) The Nature of Physical Reality. New York — Toronto — London, 1950. 180. o.

⁸ Pap, A.: a) Id. mű. 526. o.; b) Analytische Erkenntnistheorie. Bécs, 1955. 125—126. o.

láttuk — függetlennek kell lennie a determináció fogalmától. Úgy véljük, hogy az a meghatározás, amely kielégíti ezeket a követelményeket, a definíció második kísérlete, amely, Planck definíciójához hasonlóan, ellentétben áll a kezdetben említett széles és anonim felfogással. Ez a kísérlet vázlatosan és helyenként nem túlságosan következetesen szerepel Nagelnél.⁹ Itt kiinduló pontul szolgálnak az állapotváltozóknak konkrét, a fizikusok által megadott, számításán alapuló meghatározásai, valamint ezen változóknak a rendszer többi — természetesen csak az adott fizikai elmélet által vizsgált — változói közötti elemzése.

E fejtegetések eredményét a következőképpen foglalhatjuk össze: A rendszer állapotváltozóinak együttese a rendszerváltozók olyan alcsoportját képviseli, amelyek kölcsönösen függetlenek egymástól és közösen meghatározzák — definitíve vagy nomologikusan — a rendszer összes változóit; a rendszer *állapotai* pedig az állapotváltozók együttesének időbeli keresztmetszeteit képviselik. Az állapotváltozók tehát abban különböznek a rendszer többi változóitól, hogy meghatározzák ez utóbbiakat is; ezért különleges szerepet játszanak a rendszer változói között, azt mondhatjuk, alapvető változók. Ily módon a rendszer általános időbeli fejlődését, melyet összes — természetesen az adott elmélet által vizsgált — változói jellemeznek, teljesen meghatározza a rendszer állapotváltozóinak fejlődése.

A kifejtett definíció szerint és a fizikusok szándékának megfelelően az állapotváltozók, például anyagi pontok rendszerében e pontok sebességei és helyzetei, mivel egymástól kölcsönösen függetlenek, meghatározzák e pontok valamennyi többi mechanikus változóját, mint pl. kinetikus energiájukat, potenciális energiájukat stb. Hasonlóképpen, e definíció szerint, az elektromágneses mező változói az E és H mezők vektorai. Itt azonnal meg kell jegyeznünk: e definíció — természetesen ugyanezen elméleten belül — kifejezetten megengedi, hogy adott rendszerek az állapotváltozóiknak különböző egyenértékű együttesei, azaz a definíció követelményeinek egyformán jól eleget tevő együttesek létezzenek. Ez a definíció ezért nem is a rendszer állapotváltozóinak egyetlen egy együttesét emeli ki a rendszer összes változóinak az adott elmélet által vizsgált együtteséből, hanem tulajdonképpen az ilyen, egymással egyenértékű együttesek egész osztályát választja külön. Arról, hogy az adott típusú rendszerek viszonylatában az állapotváltozóknak csak egyetlen vagy több különböző egyenértékű együttese létezik, csak e rendszerek fizikai elméletének elemzéséből tájékozódhatunk. Így például a Maxwell-féle mezőelmélet megfontolása azt mutatja, hogy a mezőállapot változói egyaránt lehetnek az E és a H mezővektorok, valamint ezen mező vektor- és skaláris potenciáljai. Ebben a helyzetben pragmatikus szempontok határozzák meg, hogy a rendszerváltozók milyen együttesével kívánunk dolgozni, mint az állapotváltozók csoportjával; ez tehát megegyezés kérdése.

A javasolt definíció bizonyos magyarázatokat igényel. Mint már említettük, az állapotváltozóknak az összes többi változót — definitíve vagy nomologikusan — együttesen kell meghatározniuk. Ez azt jelenti, hogy törvényszerűségek közvetítésével definiálják vagy kötik meg az összes többi változót — innen a „nomologikus” kifejezés. A definíciókról szólva természetesen teljes

⁹ Nagel, E.: a) The Causal Character of Modern Physical Theory. Readings in the Philosophy of Science. New York, 1953. 421—422. o.; b) The Structure of Science. London, 1961. 279—281. o.

definíciókra gondolunk. Amikor pedig törvényszerűségekről beszélünk, először is együtt létező, ún. „keresztmetszet”-törvényszerűségekről van szó, azaz olyanokról, amelyek a többi változókat minden időpontban összekötik az állapotváltozókkal; másodsor, együtt létező, egyértelmű, nem-valószínűségi törvényszerűségekre gondolunk, azaz olyanokra, amelyek egyértelmű és pontos módon kötik össze ezeket a változókat az állapotváltozókkal. A szóban forgó definíciók és törvényszerűségek ilyen értelmezése esetén megállapíthatjuk, hogy az állapotváltozók egyértelműen meghatározzák a rendszer többi változót; ezek egyszerűen az előbbiekre függvényei. Világos, hogy a kimutatott definíciók és törvényszerűségek — pontosabban: törvények — az adott típusú rendszereket vizsgáló megfelelő fizikai elméletbe tartoznak; ily módon a fizikai elmélet elemzése lehetővé teszi, hogy megállapítsuk: e rendszereknek az általa vizsgált változói közül melyek — az elmélet keretei között — a rendszerek állapotváltozói. Ennek alapján könnyen megmagyarázhatjuk az állapotváltozók kölcsönös függetlenségének a definíciójukban foglalt feltételét. Arról van ugyanis szó, hogy egyik változót sem határozzák meg más változók sem definitíve, sem nomologikusan, a fent kifejtett értelemben. Hangsúlyoznunk kell, hogy Nagel az állapotváltozókról adott jellemzésében nem határozza meg közelebbről elemeiket; mi arra törekedtünk, hogy itt pontosan meghatározzuk őket, egyébként nem vagyunk teljesen bizonyosak benne, vajon ezek a pontosabb meghatározások teljesen találóak-e.

Az elemzett definíció elkerüli, hogy azok a szemrehányások érvé, amelyeket a Planck-féle meghatározásnak tesznek. Az állapotváltozók fent jellemzett fogalmát a nem determinisztikusan fejlődő nyílt rendszerekre alkalmazzuk. Alkalmazhatjuk azonban őket az olyan elszigetelt rendszerekre is — ha léteznek —, amelyek nem viselkednek determinisztikusan. Ez abból a tényből következik, hogy itt az állapotváltozókat, és így magát az állapotot sem a determináció viszonyának segítségével definiáljuk. Ezért az említett definíció nem implikálja a determinizmus elvének tautologikus jellegét az itt vizsgált felfogásban.

Térjünk át most az állapotváltozóknak és az állapot fogalmának tartalmával összefüggő néhány speciálisabb kérdésre. Az állapotváltozók, éppúgy, mint a fizikai rendszerek többi változói, a t idő-koordináta *függvényei*; a folytonos rendszerekben az x, y, z tér-koordinátáknak is függvényei. A t koordináta tehát egyetemes háttére a rendszerek változékonyságának, tulajdonságaik — különösen a rendszerállapotokat meghatározó tulajdonságok — változásának.

Az állapotváltozók vonatkozásában általában feltételezik, hogy ezek az idő *folytonos* függvényei, vagy — leegyszerűsítve a kérdést — olyan változók, amelyeknek a tetszőlegesen közel levő időpontoknak megfelelő értékei tetszőlegesen kevésbé különböznek egymástól; természetesen valamely időköz momentumairól van szó, mivel a függvény folytonossága a független változó változásának meghatározott intervallumára vonatkozik. Az ilyen függvények grafikonjai folytonos, megszakítási pontok nélküli görbék. Az állapotváltozók folytonosságának feltételezése — mint látni fogjuk — igen fontos a rendszer állapotainak empirikus, mérés útján való lemintázása, valamint a determinizmus elvének ezzel kapcsolatos igazolása szempontjából. Nem foglalkozunk itt ennek az alapfeltételnek helyességével, valamint igazságának terjedelmével. Csak annyit jelezhetünk, hogy ezt a feltételezést általában elfogadják, de nem indokolják meg alaposabban.

A fent bemutatott alapfeltételezés benne foglaltatik abban az erősebb posztulátumban, hogy az állapotváltozók az időnek legalább *kétszer differenciálható* függvényei, vagyis legalább két időbeli derivátumuk van. Ez azt jelenti, hogy az állapotváltozók nemcsak az idő folytonos függvényei — ami már biztosítja első derivátumuk létét —, hanem „sima” függvényei is az időnek; geometriailag kifejezve, grafikonjaik töréspontok nélküli görbéket adnak. Ennek a posztulátumnak megalapozását általában abban látják, hogy elfogadása nélkül nem lehet megfogalmazni az úgynevezett determinisztikus törvényeket, vagy másképpen: nem lehet determinisztikus törvényszerűségeket kifejezni. Ezek a törvények ugyanis, legalábbis az eddig ismertek — amiről később szó lesz —, differenciálegyenlet-struktúrájúak. Az állapotváltozók differenciálhatósága tehát a determinisztikus törvények megfogalmazásának szükséges feltétele. Ezért az állapotváltozók említett tulajdonsága nagy jelentőségű a determinizmus problémakörének összefüggésében. Ezért a fenti posztulátummal, valamint a belőle folyó feltétellel — hogy ti. az állapotváltozók folytonosak — szembeni minden esetleges vitának figyelembe kell vennie ezt a tényt.

Vizsgáljuk meg most közelebbről az állapot fogalmának a tartalmát. A rendszer állapotát eddig úgy határoztuk meg, mint az ezen rendszer állapotváltozói együttesének valamilyen adott időbeli keresztmetszetét, vagyis — amint megállapítottuk — az összes állapotváltozók egyidejűleg meghatározott pillanatnyi értékeinek együttesét. Ez az általános jellemzés részletesebb ismertetést igényel.

Ha az adott változó *meghatározott* értékéről beszélünk, akkor e változó pontos értékére gondolunk, nem pedig valamilyen átlagértékre. A változó ilyen értéket — amint azt általában feltételezik — kizárólag az egyedi objektumon, egy adott időpillanatban vesz fel. Így például az egyedi anyagi pontok helyzetének és sebességének értékei, vagy a mező egyedi pontjai E és H vektoraik értékei meghatározott pillanatokban pontosak.

Ezzel szemben annak a változónak értéke, amely egészében jellemzi az egyedi objektumok összességét valamely adott időpillanatban, vagy az egyes objektumot valamely idő-intervallumban, mindig átlagérték. Ez az átlag különböző pontos értékek középértéke, amelyet a változó az első esetben az együttes különböző elemein vesz fel, a második esetben pedig az egyedi objektumon az adott intervallum különböző pillanataiban vesz fel. A változó meghatározott értékei tehát csak egyediek és pillanatnyiak lehetnek.

A rendszer mint bizonyos változók meghatározott értékeiből álló együttes pillanatnyi állapotának fenti jellemzése határozottan a klasszikus fizikából származik. A kvantumfizikában ezzel szemben a kvantumrendszer állapotát a klasszikus fizikától eltérő módon határozzák meg, s ez kérdésessé teszi az állapot klasszikus jellemzésével operáló determinizmus-elv alkalmazhatóságát a mikroszisztemekre. Erre a különlegesen nagy jelentőségű kérdésre kissé később visszatérünk.

Az állapotváltozóknak, és így a rendszer állapotainak meghatározott pillanatnyi értékei elméleti absztrakciók. Mérésük eredményei sohasem pontosak, mindig bizonyos szórást mutatnak. Ezek az eredmények, számszerűen kifejezve, bizonyos véges időintervallumból vett középértékek. Nem tükrözik tehát pontosan a rendszer állapotváltozóinak pillanatnyi meghatározott értékeit, amelyek létezését feltételezzük. Ebből a helyzetből két feltételezés segít ki. Mindenekelőtt feltételezzük, hogy a mérőműszerek tökéletesedésével a méréseredményekben mutatkozó szórás, különösen a mérés időintervallumával

kapcsolatos szórás, csökken, sőt határesetben teljesen el is tűnhet. Másodszor, az állapotváltozók folytonosságára vonatkozó fenti feltételezés kifejezetten implicálja azt a lehetőséget, hogy csökkentjük a különbséget e változók elméleti értékei és mérésünk eredményei, vagyis az empirikus értékek között. Mindkét feltételezés azt mutatja, hogy a rendszer állapotváltozóinak mérésében jelentős, sőt határesetben abszolút pontosságot érhetünk el.

Az állapotnak mint időbeli keresztmetszetnek meghatározásában az állapotváltozók *egyidejűleg* meghatározott pillanatnyi értékeiről van szó. Feltételezzük tehát, hogy az adott időpillanatban, vagyis egyidejűleg, minden változónak — természetesen elméletileg — meghatározott, pontos értéke van. Ezzel kapcsolatosan feltételezzük, hogy az összes változókat azonos vagy megközelítően egyforma pontossággal mérhetjük. Ezek olyan nyilvánvaló állítások, különösen a klasszikus fizika alapján, hogy tagadásuk teljesen képtelennek látszhat. Ugyanakkor az elemi részecske helyzetére és sebességére vonatkozó Heisenberg-reláció, amely a kvantummechanikára érvényes, ellentmondásban van, ha nem is az e változók értékeinek tényleges egyidejű meghatározhatóságát kimondó tézissel, de azzal az állítással bizonyosan, hogy ezek az értékek együtt mérhetők, vagyis egyidejűleg meghatározhatók a mérési tartományban. Tehát az állapotnak itt megállapított fogalmát ebben az aspektusban sem alkalmazhatjuk a mikrorendszerekre abban az esetben, amikor az ilyen rendszerek állapotváltozóinak, a klasszikus mechanikából kiindulva, a sebességet és a helyet tekintik.

Egy másik, jöllehet már egyéb természetű komplikáció az állapot időbeli keresztmetszetként való felfogásával kapcsolatos. Arról van szó, hogy az állapotváltozók értékei rendszerint az adott rendszer sok, egymástól térbelileg távolos részén, elemén lépnek fel, például a rendszer különböző anyagi pontjain, a tér különböző pontjain stb. Ekkor természetesen a rendszer pillanatnyi állapotát, azaz az állapotváltozók egyidejűleg meghatározott pillanatnyi értékeinek együttesét, valamely meghatározott vonatkoztatási rendszerhez kell viszonyítani, mivel a térbelileg távoli események egyidejűsége a vonatkoztatási rendszertől függ. Így tehát a rendszer pillanatnyi állapotairól valóban csak az adott vonatkoztatási rendszeren belül beszélhetünk. Ez a relativitás-elmélet szempontjából szükséges precizizálás.

A további következtetések szempontjából hasznos bevezetnünk a fizikai rendszer állapot-vonalának, illetve trajektóriájának fogalmát. *Állapot-vonalon* a rendszer összes állapotainak együttesét értjük, meghatározott időirány szerint rendezetten, vagy egyszerűbben: a rendszer összes állapotainak időbeli sorozatát. Ez a vonal a rendszer változásainak folyamatát ábrázolja; az időben egymást követő vonalszakaszok e folyamat egymást követő szakaszait, a vonal meghatározott pontjai pedig meghatározott pillanatokat, azaz a rendszer állapotait. Az állapotvonal fenti meghatározása az elszigetelt és a nyílt rendszerekre egyaránt vonatkozik. Ám bennünket csak az előbbiek érdekelnek. Mivel azonban a rendszer elszigetelődése átmeneti jellegű, azaz a rendszer zártságának meghatározott intervallumában fordul elő, az elszigetelt rendszer állapotvonala időben véges, időbelileg ezzel az intervallummal egyezik meg. Ezzel összefüggően az ilyen rendszer állapotvonala nem jellemzi a rendszer sorsát sem a lezáródása előtti pillanatban, sem a megnyílása utáni pillanatban, hanem csak e két határpillanat között.

Az állapotvonal jellemző vonása, hogy *folytonos*. Ez abból a feltételezésből következik, hogy az állapotváltozók az idő folytonos függvényei. Nos,

mivel a rendszer állapotai a rendszer összes változói meghatározott pillanatnyi értékeinek együttese, és ezek a változók folytonosak, ezért a rendszer állapotai bármilyen tetszőlegesen közeli időpont számára tetszőlegesen kevésbé különböznek. Éppen ebből áll az állapotvonalnak a folytonossága. Mivel pedig az állapotváltozók vonatkozásában ezenkívül feltételezzük az idő szerinti kétszeri differenciálhatóságukat, az állapotvonalban nemcsak szakadás nincs, hanem töréspont sem semelyik változó szempontjából, vagyis az állapotvonal folytonos és „sima”.

Itt talán érdemes megemlíteni, hogy az összes állapotoknak az állapotvonalát képviselő együttese végtelen, pontosabban: kontinuumnyi. Ez az állapotváltozók folytonosságából következik, mivel éppen e változók értékeinek együttese mint folytonos függvények jelentenek kontinuumot. A folytonosságból következik az állapotvonalnak az az érdekes tulajdonsága, hogy mindenütt sűrű; ez abból áll, hogy a vonal semelyik két, időbelileg még tetszőlegesen közeli állapota sem szomszédos, az az időbelileg nem következnek közvetlenül egymás után. Köztük ugyanis mindig sok állapot található, amely állapotok megfelelnek azon időintervallum időpillanatainak, amely időintervallum elválasztja a két állapotot, s amely időintervallum értéke mindig zérustól különböző. Ennek a tulajdonságnak mindig van bizonyos jelentősége a determináció viszonyának elemzése során.

3. A determinációs viszony. A determinisztikus törvényszerűségek

Ezután foglalkozunk a következő megállapítás jelentésével: „a rendszer meghatározott állapota determinálja, meghatározza a rendszer másik meghatározott állapotát”; ez pedig a determinációs viszony lényege. Ez a viszony az elszigeteltség feltételének eleget tevő ismert fizikai rendszereket átfogó osztály állapotaira általánosan elismert. Jellege azonban szüntelen viták tárgya, különösen a fizika módszertanában. A véleménykülönbségek ebben a kérdésben sokkal alapvetőbbek, mint a többi olyan fogalom — pl. az állapotfogalom — esetében, amelyek segítségével a determinizmus elvét megfogalmazzuk. Ez a helyzet annál is nyugtalanítóbb, mert a determinációs viszony értelméről kialakított meghatározott koncepció magában foglalja a determinizmus elvének majdnem egyértelmű interpretálását. Ezért oly fontos ez a fogalom.

Az említett vitában mindenekelőtt arról van szó, hogy a determináció tárgyi viszony-e, vagy pedig a megismerési szférából származó valamilyen viszonyt képvisel. Ez az ontológiai és az ismeretelméleti nézőpont közti vita. Az ismeretelméleti nézőpont keretében ténylegesen csak egy koncepció jelentkezik, nevezetesen az, amelyik a determinációs viszonyt arra igyekszik visszavezetni, hogy egyvalamely állapot egy másik állapot és a megfelelő törvény ismerete alapján pontosan előrelátható. A determináció ilyen felfogása igen leterjedt a fizikusok között, és jellemző a neopozitivisták metodológusok jelentős részére. E felfogás részletes bemutatását és bírálatát a jelen munka második részében végezzük el.

Az ontológiai nézőpont keretében — amelyet sok fizikus elfogad, s amelyet alátámaszt a materialista módszertan — két ellentétes koncepció jelentkezik; ezek annak felfogásában különböznek egymástól, hogy konkrétan milyen tárgyi viszony képviseli a determinációt. Az első koncepció — nevezzük kauzálisnak — a rendszer állapotai között fennálló determinációs viszonyt pusztán a köztük fennálló oksági viszonnak tekinti. Az ismeretelméleti felfogás mellett

ez a legismertebb. A második koncepció — nevezzük akauzálisnak — a determinációban az állapotok közt bizonyos sajátos, az oksági viszonytól különböző viszonyt lát, amelynek egyébként kauzális alapja van. Ez a vélemény nem új, az elmúlt évek irodalmában mind gyakrabban előfordul, de általában nem szabatos formában. Ebben a pontban megkíséreljük kifejtetni és konkretizálni. Úgy véljük ugyanis, hogy megfelelő választ nyújt arra a kérdésre, hogy a determináció fogalma tényleges-e, vagyis megegyező értelmű-e a valósággal.

Mint a fentiekből következik, a determináció ontológiai nézőpontja mellett foglalunk állást, vagyis a determinációt *tárgyi*, dologi jellegű viszonynak tekintjük. Tárgyi viszonyon pedig olyan viszonyt értünk, amely objektíve jelenségeket kapcsol össze, vagyis a szubjektumtól, különösen a szubjektum megismerési lehetőségeitől függetlenül fennáll. Azok a jelenségek, amelyekkel itt foglalkozunk, fizikai események, éspedig — legalábbis bizonyos — elszigetelt fizikai rendszerek állapotai; éppen ezek alkotják az őket összekapcsoló determinációs viszony tagjait. Az említett szempontokból — a tárgyi jelleg szempontjából — ez a viszony nem különbözik az oksági, genetikus vagy általában két jelenség közötti bármilyen viszonytól. Ez az álláspont lesz egész további elemzésünk alapja. A determinációs viszonyt viszont kizárólag az elszigetelt rendszerek állapotainak vonatkozásában tárgyaljuk majd, s nem általánosságban; úgy tekintjük, mint olyan kapcsolatot, amely különböző típusú fizikai jelenségek között állhat fenn. Ez a korlátozás nemcsak a determinizmus itt vizsgált elvének összefüggésében jogosult, hanem azért is, mert a determináció fogalmával főképpen az elszigetelt rendszerek állapotainak vonatkozásában operálunk.

Vizsgáljuk meg most a determinációs viszony egy sor olyan tulajdonságát, amellyel általában azok ruházzák fel, akik tárgyi viszonyt látnak benne, függetlenül attól, hogyan igyekeznek megragadni e viszony lényegét az ontológikus nézőpont keretében. Ezek a tulajdonságok a következők: homogenitás, kéttagság, időbeli relativitás és egyértelműség.

A determináció mint a rendszer állapotai között fenálló viszony, *homogén* reláció, vagyis azonos típusú tagokat tartalmaz. Mindegyik konkrét esetben ugyanis kizárólag ugyanazon rendszer állapotai között áll fenn, amelyek ugyanazon állapotváltozók ugyanazon csoportjának a keresztmetszetei, pl. a sebességek és helyzetek által meghatározott anyagi pontok állapotai, vagy az E és H vektorok által a tér minden pontjában meghatározott mezőrendszer állapotai. Ennek a viszonynak a tagjai olyanok, melyeket ugyanazok a változók jellemeznek, tehát minőségileg azonosak. Csupán mennyiségileg, azaz a változók értékeit illetően különböznek egymástól, de ebben sem mindig, mivel a determinációs viszony által összekapcsolt állapotok különös esetben azonosak lehetnek. A fenti szempontból az állapotok közti determináció világosan különbözik például az együttlétezés által összekapcsolt különböző fizikai változók meghatározott értékei közti összefüggéstől. Ennek az összefüggésnek a tagjai ugyanis minőségileg különböznek egymástól, s ezért az összefüggés nem egyenmű.

A determináció *kéttagú* összefüggés is, azaz minden konkrét esetben csak két meghatározott állapot között áll fenn, s nem például három stb. állapot között. Ezen ismerv miatt hasonlít például az oksági összefüggéshez, amelynek legtöbbször kéttagú struktúrát tulajdonítanak.

A determinációs viszony természetesen különböző időpontok állapotai között áll fenn, tehát tagjai *nem egyidejűek*. Ebből a szempontból különbözik

az egyidejű tagokból álló koegzisztenciális függésektől, viszont hasonlít a jelenségek közti oksági összefüggéshez, amelyet általában nem egyidejű jelenségek közti függésnek tekintenek. A rendszer állapotai azonban időbeli sorozatot alkotnak, meghatározott időirány szerint rendezettek. A determináció által összekapcsolt állapotok tehát időben egymás után következnek. Ezzel kapcsolatban felmerül az irány problémája, vagyis az a kérdés, hogy megfordítható-e a determinációs viszony az időirány, az időnyíl vonatkozásában. A determináció irányáról szólva arra gondolunk, hogy kiválasztjuk az e viszony által összekapcsolt két állapot közül azt, amelyik determinál, s megkülönböztetjük attól, amelyiket determinálja. Ebben a kérdésben két vitatott álláspont van. Az első szerint a determinációs viszony iránya megfelel az időnyílnak; ez annyit jelent, hogy a determináció időben aszimmetrikus: az általa összekapcsolt két állapot közül a korábbi meghatározza a későbbit, de megfordítva nem ez a helyzet. A második álláspont az, hogy a determinációs viszonynak nincs meghatározott iránya, vagyis az időnyílnak megfelelő és ellentétes irányban egyaránt fennáll. Ez annyit jelent, hogy a determináció időben szimmetrikus: az általa összekapcsolt két állapot közül a korábbi meghatározza a későbbit, és ugyanakkor a későbbi meghatározza a korábbi. A két álláspont közötti választás problémája nézetünk szerint nyílt. Itt a kétségtelen és mindkét előadott vélemény számára közös téziszre szorítkozunk: a determinációs viszony által összekapcsolt két állapot közül a *korábbi* biztosan determinálja a *későbbit*. Az ilyen kérdésfeltevés nem dönti el egyik fenti álláspont elfogadását sem.

A fenti nézőpontból tekintve a determináció az időbeli struktúra tekintetében nem különbözik az oksági összefüggéstől: a korábbi állapotok determinálják a későbbieket, hasonlóképpen, ahogyan a korábbi jelenségek létrehozzák a későbbieket. De a determinációs viszonyt illetően nemcsak az állapotok egymásutániságát hangsúlyozzák különösen, hanem az egymásutániságnak mennyiségi aspektusát is, vagyis figyelembe veszik a determináció által összekapcsolt állapotok közötti időintervallumot is. Ez főként azzal a ténnyel kapcsolatos, hogy — mint később látni fogjuk — az adott állapot sok későbbi, tőle különböző időintervallumok által elválasztott állapotot determinál. Ezért minden konkrét determinációs viszony kifejezetten meghatározott időintervallumhoz viszonyított, mely elválasztja egymástól azokat az állapotokat, amelyek között fennáll. A determinációs viszony tehát *időbelileg relativizált*. Ezért azon megfogalmazás helyett, hogy „az S_1 állapot meghatározza az S_2 állapotot”, a következő, pontosabb, e relativizáltságot jelölő megfogalmazást kell használnunk: „az S_1 állapot a t_1 idő után meghatározza az S_2 állapotot”, ahol a t_1 az S_1 és S_2 közti időintervallumot jelenti, az „idő után” kifejezés pedig azt, hogy a korábbi állapot determinálja a későbbit.

A determinációs viszony alapvető tulajdonsága, legalábbis általánosan felfogott értelmében, az *egyértelműség*. Ezt a tulajdonságot a következőképpen értelmezzük: Feltételezzük, hogy az adott rendszerben meghatározott S_1 állapot után t_1 idő elteltével másik, meghatározott S_2 állapot következik be. Képzeljük el továbbá, hogy ugyanebben a rendszerben vagy valamelyik másolatában egyaránt megismétlődik az S_1 és az S_2 állapot, azaz ugyanolyan állapotok fordulnak elő, mint S_1 és S_2 . Ilyen módon az (S_1) és az (S_2) állapotok egymemű együttesei jönnek létre. Feltételezzük végül, hogy az (S_1) együttes minden állapota után t_1 idő elteltével az (S_2) együttes valamelyik állapota következik be; más szóval: ugyanazon S_1 állapotok után ugyanazon t_1 idő elteltével mindig ugyanazon S_2 állapotok következnek be. Ha tehát ilyen helyzet

áll fenn, és ténylegesen megvan a determinációs viszony az S_1 és az S_2 állapotok között, akkor azt mondjuk, hogy az S_1 állapot egyértelműen determinálja az S_2 állapotot.

A determinációt rendszerint erősebb tulajdonsággal ruházzák fel, nevezetesen az egy-egyértelműséggel. Ez azt jelenti, hogy a determináció által összekapcsolt S_1 és S_2 állapotok vonatkozásában nemcsak azonos S_1 állapotok után azonos t_1 idő elteltével mindig ugyanazon S_2 állapotok fordulnak elő, hanem azt is, hogy ugyanazon S_2 állapotok előtt ugyanazon t_1 idővel mindig ugyanazon S_1 állapotok léteznek. A determináció egyértelműségéből természetesen nem következik az egy-egyértelműség. Ezenkívül nem szabad összekeverni az utóbbi tulajdonságot a determináció szimmetriájával; lehetséges ugyanis, hogy az egy-egyértelmű viszonyok egyáltalán ne rendelkezzenek a szimmetria ismérével.

A determináció fentebb tisztázott fogalmát néha megkülönböztetik e viszony állandóságának, illetve egyetemességének tulajdonságától, amikor például azt mondják, hogy a determinációs viszony egyértelmű és állandó. Az ilyen megkülönböztetést hibásnak tekintjük. Az állandóság ezen összefüggésben használt fogalma jelentésének elemzése azt mutatja, hogy lényegében kizárólag a determinációs viszony fentebb meghatározott egyértelműségéről van szó. Ezért e viszony egyértelműsége helyett beszélhetünk állandóságról, illetve egyetemességről, és megfordítva, miután ezek szinonim fogalmak.

Miként a bevezetett meghatározásból kitűnik, annak feltétele, hogy a determinációs viszony egyértelműsége nem üres, az, hogy az e viszony által összekapcsolt rendszerállapotok megismétlődnek. Ezeknek az állapotoknak természetesen nem kell ugyanazon rendszerben ismétlődniük, hanem elég, ha a rendszer másolataiban ismétlődnek, de legalább ennyi szükséges. Abban a helyzetben, amelyben két meghatározott rendszerállapot nem reprodukálódik sem ugyanabban a rendszerben, sem annak semmilyen másolatában, tehát bizonyos értelemben egyszeri jelenségek, a determináció egyértelműségének fogalma az ő vonatkozásukban üressé válik. Az említett feltételre és határfeltétel-jellegére még visszatérünk. Ez ugyanis egyik feltétele annak, hogy a determinizmus elve ne legyen üres.

A jelenségek közötti oksági viszony — miként általában vélekednek is — szintén egyértelmű kapcsolat. Ezt a tulajdonságát általában a következő általános alakban fejezik ki: ugyanazok az okok — ugyanazok a következmények. Ez a formula az oksági viszony állandóságáról, illetve egyetemességéről szóló tézis nevét viseli. Az oksági viszonnak ritkábban tulajdonítanak egy-egyértelműséget, vagyis ritkábban helyezkednek arra az álláspontra, hogy az adott típusú következmények okai „egyek”. Ezzel szemben állnak azok, akik azt feltételezik, hogy a jelenségeknek alternatív okai vannak.

A determinációs viszony nem vitatott tulajdonságainak áttekintése után térjünk át az alapvető kérdésre, nevezetesen arra, hogy e viszony lényegét jellemezzük. Egyelőre foglalkozunk meg vázlatosan azt a meghatározást, amely szerintünk helyes, vagyis — mint már említettük — az akauzális meghatározást. Később majd részletesebb magyarázattal szolgálunk.

A determináció ismert és kellőképpen megvizsgált példáinak elemzésére támaszkodva azt mondhatjuk, hogy „az S_1 állapot determinálja t_1 időben az S_2 állapotot” megfogalmazás azt jelenti, hogy „ha az S_1 állapot bekövetkezik, akkor t_1 időben a megfelelő törvényszerűség szerint bekövetkezik az S_2 állapot”,

vagy ami ugyanezt jelenti: „az S_1 -állapot elégségesen feltételezi a t_1 időben a megfelelő törvényszerűség szerint az S_2 állapotot.”

Vizsgáljuk meg ennek a definíciónak egyes elemeit. A genus proximum itt az implikáció, illetve az elégséges feltétel fogalma. Ebben az összefüggésben a fogalmat a köznapi értelemben fogjuk fel, és nem a szintaktikus értelemben mint a jelenségek vagy dolgok állapotai között fenálló kapcsolatot; ugyanakkor tisztában vagyunk azokkal a nehézségekkel, amelyek e fogalom pontos meghatározásának kísérleteiben felmerülnek. Ez kétségtelenül bizonyos meghatározatlanságot visz a javasolt definícióba, de ez ellen nem tehetünk semmit. A differencia specifica pedig ebben az esetben a „megfelelő törvényszerűség szerint” kifejezés; ennek deszignátuma az állapotok közti implikációs kapcsolatok közül kiemeli azokat, amelyek a determinációs viszony jellegével rendelkeznek. A törvényszerűségről szólva általános tárgyi, reális összefüggésre gondolunk, olyanra, amely az adott rendszer összes állapotait, valamint az adott típusú rendszerek állapotait is egyértelműen, pontosan kapcsolja össze. Itt tehát determinisztikusnak nevezett törvényszerűségről van szó; amelynek behatóbb elemzésével később foglalkozunk. Mivel a különböző rendszerek, illetve rendszer-típusok számára különböző ilyen törvényszerűségek léteznek, ezért az adott rendszer S_1 és S_2 állapotai közti kapcsolat a „megfelelő”, vagyis az éppen az adott rendszerre vonatkozó törvényszerűségekre relativizálódik. Végül, a „törvényszerűség szerint” kifejezést úgy értjük, hogy az implikáció az adott rendszer S_1 és S_2 állapotai között a rendszer determinisztikus törvényszerűségének különleges esete. A fenti meghatározásnak erre a lényeges elemére szintén visszatérünk még.

Térjünk át most a determináció *kauzális* koncepciójára. Ez — változatától függetlenül — arra redukálódik, hogy a rendszer állapotai között fennálló determinációs viszony pusztán az állapotok közti okozati összefüggés vagy ennek az összefüggésnek valamely sajátos formája. Más szóval „az S_1 állapot t_1 időben meghatározza az S_2 állapotot” megfogalmazás azt jelenti, hogy „az S_1 állapot t_1 időben az S_2 állapotot okozza”, ahol az „okozza” kifejezés helyett gyakran az „oka” kifejezést használják. Ez a tézis az alapja annak, hogy a determinizmus elvét a vizsgált felfogásban úgy tekintik, mint az oksági elv különleges, nevezetesen az elszigetelt rendszerek állapotaira vonatkozó formáját.

Ez a koncepció legalábbis két változatban fordul elő, s mindkettő az oksági összefüggés meghatározott karakterisztikumával kapcsolatos.

Az *első* változat — amely meglehetősen népszerű bizonyos neopozitivisták körökben, s amelyet például Margenau,¹⁰ Lenzen¹¹ és mások világosan megfogalmaztak — egész határozottan az oksági összefüggés olyan meghatározásához kapcsolódik, amely az okság fogalmának hume-i kritikájából következik. Ez a meghatározás az oksági összefüggést a jelenségek közti homogen (legalábbis a rendszer állapotainak körében homogén), kéttagú, az időbeli egymásutániség struktúrájával rendelkező és mindenekelőtt egyértelmű, illetve a fenti értelemben állandó összefüggésnek tekinti. Általában Hume nyomán elvetik az összefüggés dinamikus jellegét, s tulajdonságait kizárólag vagy lényegileg a fentiekre korlátozzák.

A determináció kauzális koncepciójának említett változata arra az alapra épül, hogy a determinációs viszonyt éppen azok az ismérvek jellemzik, amelyek

¹⁰ Margenau, H.: Id. mű (6/b) 393. és 398. o.

¹¹ Lenzen, V. F.: Causality in Natural Science. Illinois, 1954. 20. o.

segítségével az így felfogott oksági összefüggés megkapja a karakterisztikumát. Az oksági összefüggés ismertetett meghatározása mintegy speciálisan preparált e koncepció végigvitele számára; ebből a szempontból a koncepció teljesen helyesnek látszik.

A lényeg azonban az, hogy az oksági összefüggés Hume-féle jellemzése, amely e változat alapja, nem találó, azaz nem felel meg az e fogalommal kapcsolatos alapvető intuícióknak. Ezért az a véleményünk, hogy a determináció fentebb vázolt kauzális változata nem kauzális a szó szoros értelmében, hanem kvázikauzális. Szigorú értelemben kauzálisnak a *második* változatot tekintjük, mely főképpen a materialista metodológia alapján jelentkezik. Ez az oksági összefüggés klasszikus felfogásával kapcsolatos, és ez szerintünk az oksági összefüggés egyetlen adekvát, bár kevésbé pontosan körülírt jellemzése.

Így hát az oksági összefüggésnek azokon a tulajdonságokon kívül, amelyeket Hume meghatározása tartalmaz, hagyományosan *dinamikus* jelleget is tulajdonítanak. Ezt az ismérvet e viszony számára konstitutívnek tekintik, s ennek segítségével határozzák meg a lényegét, specifikumát. Ez a dinamikus jelleg — vélik — a jelenségek közötti bizonyos irányú hatásból áll, abból, hogy egyes jelenségek más jelenségeket váltanak ki. Ezért az „okozza”, „oka”, kifejezéseket a „hat”, „kivált” kifejezésekkel egyértelműen használják. Ez a klasszikus meghatározás maga. A relativitáselmélet, midőn a fizikai események és a köztük levő dinamikus jel-kapcsolatok nyelvét használja, kifejezetten ezt a felfogást használja, s e kapcsolatokat kauzális típusú összefüggéseknek tekinti.

A determináció második kauzális változata éppen az oksági összefüggés fenti klasszikus jellemzésén alapul. Szerinte tehát „az S_1 állapot meghatározza az S_2 állapotot” megfogalmazás szigorúan véve ugyanazt jelenti, mint a következő megfogalmazás: „az S_1 állapot hat az S_2 állapotra”, vagy „az S_1 állapot kiváltja az S_2 állapotot”. Nehezen érthetünk egyet azonban ezzel az értelmezéssel. Felmerül ugyanis a következő alapvető ellenvetés: vajon a rendszer állapotait összekapcsoló determináció esetében ténylegesen van-e valamilyen hatás közöttük? Egyáltalán beszélhetünk-e hatásról a rendszer állapotai között?

A fizikai hatás, amely mindig térbeli energia-szállítással jár együtt, véleményünk szerint két helyzetben fordul elő. Először: hatás lép fel különböző *objektumok* között vagy ugyanazon objektum részei között, például különböző testek vagy különböző mezők között, amelyek energiát adnak át egymásnak. Ám a fizikai rendszerek, vagyis meghatározott testek vagy térrészek állapota nem az objektumok kategóriájába, hanem a folyamatok kategóriájába tartoznak. Nem beszélhetünk tehát arról, hogy köztük a fenti értelemben vett hatás áll fenn, egyébként nem is erre gondolnak azok, akik azt állítják, hogy a rendszer állapotai hatnak egymásra. Másodszor: hatás megy végbe különböző, tér- és időbelileg távoli *események*, illetve folyamatok között, amelyeket jelek kapcsolnak össze. Az eddigi fejtegetésekben, amelyekben a determinációs viszonyt összehasonlítottuk az oksági összefüggéssel, az összefüggésnek éppen ezt az alakját vettük figyelembe, vagyis a különböző jelenségeket, nem pedig a különböző objektumokat összekapcsoló oksági összefüggéseket szemléltük. Természetesen, az állapotok esemény-jellegére való tekintettel, a determináció kauzális koncepciójában csakis ilyen dinamikus kapcsolatról lehet szó. Nem ez a helyzet azonban a rendszer állapotai közötti kapcsolat esetében. Az egy és ugyanazon, meghatározott rendszer állapotai időbelileg ugyan különváltak, de — s ez a lényeges — térbelileg nem egymástól távoliak, természetesen az

ezzel a fizikai rendszerrel kapcsolatos vonatkoztatási rendszerben. Ezzel összefüggésben nem lehet szó térbeli energiaszállításról a rendszer állapotai között, tehát nem mondhatjuk, hogy közöttük hatások fordulnak elő.

Igy tehát szerintünk a determinációs viszony nem dinamikus jellegű, s ezért hibásnak tekintjük fenti kauzális értelmezését. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a determináció független az oksági összefüggéstől. Úgy véljük ugyanis, hogy az elszigetelt rendszer állapotai között előforduló determinációs összefüggéseknek, amelyek az ilyen rendszer összes állapotait egyértelműen összekapcsoló általános törvényszerűség különleges esetei, kifejezetten *kauzális alapjuk* van. Itt arra az ismert tényre gondolunk — amelyről az első pontban szóltunk —, hogy az elszigetelt rendszer állapotváltozóinak egyértelmű fejlődését, vagyis állapotainak meghatározott változását, mely éppen az általános determinisztikus törvényszerűségben jut kifejezésre, a rendszer részei között fennálló belső hatások, tehát az e részek közötti oksági összefüggések szabják meg. Mint látjuk, itt az oksági összefüggésnek arról az alakjáról van szó, amely különböző objektumokat, nem pedig jelenségeket kapcsol össze. Így tehát, bár a rendszer állapotai között fennálló determinációs viszony maga nem oksági jellegű, mégis meghatározott oksági összefüggések által megszabott, vagyis kauzális alapú összefüggést képvisel. Ehhez a véleményhez közel állnak egyes szovjet szerzők, például Szvecsnikov;¹² ők szemben állnak azzal az elterjedt koncepcióval, amely a determinációt az oksági összefüggéssel azonosítja, de nem bocsátkoznak a determinációs viszony közelebbi akauzális meghatározásának kérdésébe.

Összefoglalóan azt mondhatjuk, hogy a determinációs viszony sajátos, az oksági összefüggéstől különböző, de kauzális alapú függés az elszigetelt rendszer állapotai között. Ezért a fizikai determinizmus elve az itt áttekintett felfogásban nem az okság elvének valamely különleges formája, hanem teljeseen önálló elv.

Térjünk rá most azon fizikai törvényszerűségek részletesebb elemzésére, amelyekre a determinációs viszony meghatározása során hivatkozunk. Ez lehetővé teszi, hogy jobban tisztázzuk e viszony jellegét és bizonyos tulajdonságait. Mint már röviden jeleztük, olyan törvényszerűségekről van szó, amelyek egyértelműen, szorosan egybekapcsolják az elszigetelt rendszerek állapotait. Ezért gyakran *determinisztikus*, illetve *egyértelmű* törvényszerűségeknek nevezzük őket, szembeállítva a valószínűségi, többértelmű törvényszerűségekkel. Egyes szerzők, különösen az oksági kapcsolat Hume-féle jellemzésének hívei, „kauzálisoknak” nevezik ezeket a törvényszerűségeket. Ezt a nevet azonban a determináció és oksági összefüggés közti viszony fenti felfogásának fényében nem tekintjük megfelelőnek.

Itt több szempontból meg kell különböztetnünk egymástól a fizikai törvényszerűségeket és törvényeket. Fizikai törvényszerűségeken a jelenségek közti általános reális függéseket értjük; ezek tehát tárgyi jellegűek. Fizikai törvényeken viszont olyan általános állításokat értünk, amelyek leírják ezeket a reális függéseket; ezek tehát a fizikai nyelv specifikus kifejezéseinek jellegével rendelkeznek. A törvények tehát nyelvi korrelátumai, leírásai a megfelelő törvényszerűségeknek, a törvényszerűségek viszont a megfelelő törvények tárgyi korrelátumai. Ennek megfelelően a további fejtegetésekben egyrészt deter-

¹² Szvecsnikov, G. A.: Az okság kategóriája a fizikában.

minisztrikus törvényszerűségekről, másrészt determinisztikus törvényekről beszélünk, s ezekben a törvényszerűségek specifikus jellemzőit látjuk.

A fizikai változókra vagy értékekre vonatkozó determinisztikus törvényszerűségek metrikus függések. Ezért matematikai alakú törvényekben-tételekben tükröződnek vissza. Ez a forma meglehetősen bonyolult. Az ilyen típusú törvények ugyanis, legalábbis az eddig ismertek, bizonyos fizikailag értelmezett *differenciálegyenletek*. Ezekben az egyenletekben a független változó mindig az idő, és rajta kívül gyakran a térkoordináták, a függő változók pedig egyszerűen az állapotváltozók. Az ilyen egyenletek tartalma arra redukálódik, hogy szimbolikus felírásban kifejezi az állapotváltozók idő szerinti (és esetleg térkoordináták szerinti) differenciálhányadosait mint ezen állapotváltozók függvényeit; az effajta konkrét törvény természetesen bizonyos különleges állapotváltozók differenciálhányadosait fejezi ki mint ezen változók függvényeit. Ebből az következik, hogy az ezeknek az egyenleteknek megfelelő determinisztikus törvényszerűségek — differenciális aspektusukban — az *állapotváltozók idő szerinti differenciálhányadosainak funkcionális függései maguktól a változóktól*.

A determinisztikus törvények rendszerint másodrendű differenciálegyenletek, azaz legfeljebb az állapotváltozók idő szerinti második differenciálhányadosainak szimbólumait tartalmazzák. Ilyenek például a konzervatív mechanikus rendszerek mozgástörvényei, az elektromágneses tér Maxwell-törvényei Lorentz megfogalmazásában stb. Az egyenletek említett rendje az alapja az előző pontban említett posztulátumnak, amely az állapotváltozók idő szerinti kétszeres differenciálhatóságát mondja ki. Ebből láthatjuk, hogy ez a posztulátum szükséges feltétele a megfelelő törvények megfogalmazásának, tehát a determinisztikus törvényszerűségek adekvát kifejezésének, amennyiben természetesen ilyenek léteznek.

A determinisztikus törvények az általuk kifejezett egyenletek típusát illetően két, egymástól különböző csoportra oszlanak. Egyesek kizárólag egy független változót, nevezetesen az időt tartalmazó egyenletek. Ezek tehát közönséges differenciálegyenletek. Ehhez a csoporthoz tartoznak a diszkrét rendszerek fejlődését leíró törvények, például az anyagi pontok rendszerének, a merev testek mozgástörvényei stb. Más törvények azonban több független változót tartalmazó egyenletek; az időhöz itt térkoordináták járulnak. Ezek tehát parciális differenciálhányadosokat tartalmazó egyenletek. Ebbe a csoportba tartoznak a folytonos rendszerek fejlődését leíró törvények, például a mezők Maxwell-törvényei, a folytonos mechanikai centrumok törvényei stb. A törvények típusában mutatkozó ilyen különbségek arra utalnak, hogy a diszkrét rendszerek determinisztikus törvényszerűségei némileg különböznek a folytonos rendszerek determinisztikus törvényszerűségeitől.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a korszerű fizikában ismert összes determinisztikus törvények *időbelileg szimmetrikusak*. Ez azt jelenti, hogy az állapotváltozóknak csakis páros rendű idő szerinti differenciálhányadosait tartalmazzák, és ezzel kapcsolatban nincs kitüntetett időirány. Ennek megfelelően az ő determinisztikus törvényszerűségeik is szimmetrikus jellegűek, közömbösek az idő irányát illetően.

Céljaink szempontjából nem is annyira a determinisztikus törvényszerűségek fenti, differenciális aspektusú elemzése lényegbevágó jelentőségű, mint inkább az olyan aspektusú elemzés, amelyet integrálisnak nevezhetünk. Ez az aspektus közvetlen kapcsolatban van a determinisztikus törvényeket kifejező

differenciálegyenletek *megoldásaival*. Az ilyen egyenletek általános megoldásai az állapotváltozókat úgy fejezik ki, mint az idő (és esetleg a térkoordináták) függvényeit, valamint bizonyos integrációs állandóknak nevezett konstansokat. Ezeket a megoldásokat a törvény-egyenletek integrálása révén kapjuk meg, s gyakran integrál-törvényeknek nevezzük őket. Logikai szempontból a differenciál-törvények (egyenletek) és a nekik megfelelő integrál-törvények (az egyenletek megoldásai) ugyanazon determinisztikus törvények egyenértékű matematikai megfogalmazásai.

Az említett integrációs állandók tetszőleges értékeket vehetnek fel. Rendszerint úgy értelmezik őket, mint az állapotváltozók meghatározott — ilyen vagy olyan — értékeit bizonyos időpontban, s kezdeti feltételekkel hozzák őket kapcsolatba. Az ezen állandók értékeiben mutatkozó különbségek az említett egyenletek különböző részmegoldásaira redukálódnak. Az állapotváltozókat úgy fejezik ki, mint az idő- (és esetleg a tér-) koordináták, valamint ugyanezen állapotváltozók meghatározott kezdőértékeinek függvényeit.

A fentiekből következik, hogy a determinisztikus törvényszerűségek — integrál-aspektusokban — az állapotváltozóknak az időtől és az ugyanezen állapotváltozók kezdő értékeitől, vagyis meghatározott időpontban mutatott értékeitől való funkcionális függései. A további fejtegetésekben az egyszerűség kedvéért a diszkrét rendszerek determinisztikus törvényszerűségeire szorítkozunk, ahol az állapotváltozók csak az idő függvényei. A kimutatott függések egyes állapotváltozókra vonatkoznak, tehát a következő alakúak: $w_n^1 = f_1(t, w_0^1, w_0^2, \dots)$, $w_n^2 = f_2(t, w_0^1, w_0^2, \dots)$ stb., ahol a $w_n^1, w_n^2, \dots$ az egyes állapotváltozókat jelentik, a $w_0^1, w_0^2, \dots$ pedig a változók kezdeti értékeit ugyanabban a meghatározott időpontban. Természetesen annyi ilyen függés van, ahány változó. Ily módon a fenti függések teljes együttese keletkezik, s ez kifejezi az elszigetelt rendszer tetszőleges állapotának „összegezett” funkcionális függését az időtől és a rendszer kezdeti állapotától, azaz meghatározott időpontbeli értékétől; a rendszer állapota tehát az időnek és a rendszer kezdeti állapotának függvénye. Mivel a $w_n^1, w_n^2, \dots$ változók együttesen az S_n tetszőleges állapotot képviselik, a $w_0^1, w_0^2, \dots$ értékek pedig együttesen az S_0 kezdeti állapotot, a fenti „összegezett” függést a következőképp írhatjuk fel: $S_n = f(t, S_0)$; az f függvény itt az $f_1, f_2, \dots$ függvények teljes együttese, s ez utóbbi függvények a különböző típusú rendszerekre vonatkoztatva természetesen általában különfélek.

A fenti értelemben — az integrálisan és „összegezetten” — vett determinisztikus törvényszerűségek nyilvánvalóan egyértelműek. Mivel mindegyik az S_0 és a t argumentum függvénye, ez annyit jelent, hogy minden meghatározott S_0 -nak és meghatározott t -nek egy és csakis egy meghatározott S_n felel meg, úgyhogy $S_n = f(t, S_0)$; a t itt az S_0 és az S_n állapotot elválasztó időintervallum, természetesen nem mehet túl a rendszer nyílttá válásának pillanatán. A determinisztikus törvényszerűség ugyanis kizárólag az elszigetelt rendszer állapotait köti össze, a rendszer lezártságának intervallumában „hat”. Ez a törvényszerűség egyúttal egy-egyértelmű, azaz minden meghatározott S_n -nek és t -nek egyetlen S_0 felel meg, úgyhogy $S_n = f(t, S_0)$.

A fenti eredmények alapján világossá válik két kérdés, amely kapcsolatos a determinációs viszony ajánlott definíciójával. Először: a determinisztikus törvényszerűség fenti definícióban használt fogalmának jelentése. Másodszor: a definícióban előforduló „törvényszerűség szerint” kifejezés értelme, amelynek jelentését ideiglenesen tisztáztuk, amikor megállapítottuk, hogy itt a rendszer állapotai közötti implikáció a megfelelő törvényszerűség *különleges esete*. Az

elvégzett elemzésnek megfelelően ez azt jelenti, hogy ha az S_1 állapot t_1 időben implikálja az S_2 állapotot, s a determinisztikus törvényszerűség alakja $S_n = f(t, S_0)$, egyszersmind $S_0 = S_1$, *valamint* $t = t_1$, akkor $S_n = S_2$. Hasonlóképpen, ha az S_1 állapot t_2 időben implikálja az S_3 állapotot, *valamint* $S_0 = S_1$ és $t = t_2$, akkor $S_n = S_3$ stb. a különböző t -k számára. Ez a kiegészítő magyarázat egyben megmutatja, hogy a determinációs viszony minden egyes konkrét esetét időben relativizálni kell.

Figyelemre méltó az a tény, hogy a determinációs viszony *egyértelműsége* a megfelelő determinisztikus törvényszerűség egyértelműségének logikus *következménye*. Cakugyan, feltételezzük, hogy az adott rendszer állapotai az $S_n = f(t, S_0)$ törvényszerűségnek vannak alárendelve, továbbá, az S_2 állapotnak t_1 időben az S_1 állapot általi bizonyos egyedi implikációja e törvényszerűség különleges esete, vagyis az S_1 állapot t_1 időben meghatározza az S_2 állapotot. Így hát, ha ebben a rendszerben vagy valamely másolatában megismétlődik az S_1 állapot, vagyis előfordul az $S_1^* = S_1$, akkor e törvényszerűség szerint azonos t_1 idő után bekövetkezik ugyanaz az S_2 állapot, azaz $S_2^* = S_2$; vagyis az $S_1^* = S_1$ állapot t_1 időben determinálja az $S_2^* = S_2$ állapotot. A törvényszerűség egyértelműsége tehát a különleges esetek egyértelműségét vonja maga után, természetesen csak ha feltételezzük az állapotok megismétlődését. Ha az S_1 állapot megismétlődése esetén t_1 idő elteltével a törvényszerűség szerint az S_2 -től különböző S_2^* állapot következne be, akkor az S_1 és S_2 közötti determinációs viszony nem lenne egyértelmű, s természetesen a törvényszerűség sem volna egyértelmű jellegű, és ennek következtében egyáltalában nem nevezhetnénk determinisztikusnak.

A determinisztikus törvényszerűség egy tetszőleges állapot folytonos függése az időtől és a kezdeti állapottól, ami az állapotváltozók folytonosságából következik. Ezért folytonos állapot-vonalat ír le. Ez arra vezet, hogy nincs *közvetlen*, azaz szomszédos, vagyis időbelileg közvetlenül egymás után következő állapotok közti determinációs viszony. Ilyen állapotok ugyanis nem léteznek. A determinációs viszony mindig *közvetett*; két, egymástól idő-intervallummal elválasztott állapot között fordul elő, s ebben az intervallumban még más állapotok is előfordulnak.

Befejezésül szóljunk még néhány szót arról az állításról, amely — elemzésünk keretében — kiindulópontul szolgál a determinizmus elvének megfogalmazása számára. Ha a determináció elemi viszonya a megfelelő determinisztikus törvényszerűségnek különleges esete, s az adott elszigetelt rendszernek és állapotainak vonatkozásában ilyen törvényszerűség fennáll, akkor ennek a rendszernek *tetszőleges* meghatározott állapota megfelelő időben determinálja a rendszer összes későbbi állapotait. Ténylegesen, ha fennáll az $S_n = f(t, S_0)$ törvényszerűség, és t pozitív előjelű (itt csupán az időnyílnak megfelelő determinálást feltételezzük), akkor az S_0 kezdő állapot t_1 időben determinálja az S_1 állapotot, t_2 időben az S_2 állapotot stb., vagyis az S_0 utáni összes későbbi állapotokat, egészen a rendszer megnyílásának pillanatáig. A kezdő állapot azonban nem kivételes valami, hanem a rendszer tetszőleges állapota képviselheti, s ez az integrálási állandók tetszőleges jellegéből következik. Így tehát a determinisztikus törvényszerűség uralma alatt álló rendszer tetszőleges meghatározott állapota determinálja a rendszer összes későbbi állapotait, természetesen a rendszer zártságának intervallumában.

II. A determinizmus elve

1. A determinizmus elve és a Maxwell-elv

Mint kimutattuk, a determinációs viszony javasolt definíciója, valamint annak elfogadása, hogy adott elszigetelt rendszer számára létezik determinisztikus törvényszerűség, ahhoz a tézishoz vezet, hogy e rendszer tetszőleges meghatározott állapota determinálja a rendszer összes későbbi állapotait. Ennek a tézisnek minden elszigetelt rendszerre való általánosítása, vagyis az az állítás, hogy *minden elszigetelt rendszer számára a rendszer tetszőleges meghatározott állapota determinálja a rendszer összes ennél későbbi állapotait*, nem egyéb, mint a determinizmus elve az itt vizsgált felfogásban, amely általánosan használatos.

A fizikusok gyakran különböző szempontok miatt feltételezik a determinációs viszony szimmetrikus voltát, s ezt az elvet erősebben fogalmazzák meg, mondván, az adott állapot nemcsak a hozzá képest későbbi, hanem a korábbi állapotokat is determinálja, azaz determinál minden állapotot, függetlenül azoknak az adott állapothoz képest időbeli elhelyezkedésétől. Mivel azonban a determinációs viszony szimmetriájának problémáját eldöntetlennek tekintjük, itt gyengébb és óvatosabb megfogalmazást fogadunk el. Eszerint az állapotok determinációja csak az idő irányának megfelelően áll fenn, s ezért előre-mutató jellegű.

A determinizmus fentebb kifejtett elvét kissé eltérően is megfogalmazhatjuk, mégpedig mint olyan állítást, mely kimondja, hogy *minden elszigetelt rendszer számára létezik megfelelő, azaz állapotaira vonatkozó determinisztikus törvényszerűség*. A tárgyalt elvnek ezt a változatát nomológiaiainak nevezhetjük, megkülönböztetésül a bevezetésben említett változattól, amelyet eseménybelinek nevezünk. A determinációs viszony és a determinisztikus törvényszerűség itt elfogadott meghatározásai alapján a nomológiai változat egyenértékű az eseménybelivel, s ezt minden nehézség nélkül kimutathatjuk. A determinizmus elvének fenti eltérő, de egyenértékű kifejezései segítségünkre lesznek további fejtegetéseink során.

Most rátérünk arra, hogy elemezzük a determinációs viszony és a determinisztikus törvényszerűség egyértelműségének egy bizonyos fizikai aspektusát. Ez lehetővé teszi, hogy megállapítsuk a determinizmus elvének és az úgynevezett Maxwell-elvnek tényleges viszonyát. A determináció említett jellemzője — melyet általában és röviden az a tétel fejez ki, hogy „ugyanazok az állapotok ugyanazokat az állapotokat determinálják” — nyilvánvalóan feltételezi a determinációs viszony által összekapcsolt állapotok megismétlődését. Az állapotok azonban, mint tudjuk, két helyzetben ismétlődhetnek meg: vagy ugyanabban a rendszerben, vagy a rendszer másolataiban, ami természetesen nem zárja ki a két eset összekapcsolódásának lehetőségét. Ez a megismétlődés mármost határozottan tér-időbeli jellegű. Az állapot megismétlődése egy rendszerben ugyanis azt jelenti, hogy ugyanazok az állapotok különböző időpontokban fordulnak elő, különböznek időbeli elhelyezkedésük tekintetében. Az állapot megismétlődése a másolatokban viszont azt jelenti, hogy ugyanazok az állapotok *a)* vagy csak az időbeli elhelyezkedés tekintetében különböznek egymástól, s ez akkor fordul elő, ha a másolat-rendszerek különböző időszakokban ugyanabban a tértartományban fordulnak elő; *b)* vagy csak a térbeli elhelyezkedés tekintetében különböznek egymástól, s ez akkor fordul elő, ha a rendsze-

rek a tér különböző tartományaiban fordulnak elő, fejlődésük azonban, legalább is részlegesen, ugyanabban az időszakban megy végbe; c) vagy mind az időbeli, mind a térbeli elhelyezkedés tekintetében különböznek egymástól, s ez akkor fordul elő, ha a rendszerek az idő és a tér különböző tartományaiban fordulnak elő.

Mivel az állapotok megismétlődése éppen ilyen jellegű, a determinációnak két meghatározott, ismétlődő állapot között előforduló egyes esetei, általában véve különböző időszakokban és a tér különböző tartományaiban realizálódnak. Ezzel kapcsolatban az az állítás, hogy „ugyanazok az állapotok ugyanazokat az állapotokat determinálják”, amely kifejezi bármely két egymást követő állapot közti determináció egyértelműségét, implikálja azt a tételt, hogy „ugyanazok az állapotok mindig és mindenütt ugyanazokat az állapotokat determinálják”. Ez azt jelenti, hogy a determináció *egyértelműségének* vizsgált ismérve maga után vonja e viszony tér-időbeli *változatlanságát*. Más szóval: a determinációs viszony, mivel egyértelmű, időben és térben változatlan, illetve változatlanoknak kell lennie. Éppen ezen alapul az említett viszony egyértelműségének fizikai aspektusa, amit e tulajdonság pusztán logikai meghatározása nem mutat meg expliciten.

Hasonló a helyzet a determinisztikus törvényszerűség egyértelműségével. Ez az ismérv, amely abban jut kifejezésre, hogy mindig meghatározott S_0 állapotnak és t intervallumnak csak egyetlen meghatározott S_n állapot felel meg, feltételezi az állapotok megismétlődését is, méghozzá mindegyik állapotét, amelyre az adott törvényszerűség vonatkozik. Ez a tény, az állapotok megismétlődésének tér-időbeli jellege alapján implikálja, hogy a determinisztikus *törvényszerűség egyértelműsége* maga után vonja a *tér-időbeli változatlanságot*, vagyis — mint gyakran mondják — e *törvényszerűség tér-időbeli egyetemességét*. Ez a törvényszerűség, mivel egyértelmű, a térben és időben változatlan, egyetemes, illetve annak kell lennie. A determinációs viszony egyértelműsége és a megfelelő törvényszerűség egyértelműsége közti kapcsolat miatt e viszony tér-időbeli változatlansága következik e törvényszerűség analóg változatlanságából. Ez természetesen vonatkozik a determinációnak az adott rendszerben előforduló összes viszonyaira, mivel ez a törvényszerűség mindegyiküket felöleli.

Fejtegetéseink fenti eredményei alkotják a fizika metodológiájában Maxwell-elv néven ismert fontos tétel ismertetésének és elemzésének kiindulópontját. Ez ez elv általános, egyszersmind tárgyi megfogalmazásában úgy hangzik, hogy az *összes fizikai törvényszerűségek tér-időbelileg változatlanok, egyetemeseek*. A Maxwell-elv tehát felöleli mind az összes egyértelmű, funkcionális törvényszerűségeket, amelyek közé tartoznak a bennünket érdeklő determinisztikus törvényszerűségek is, mind pedig a többértelmű valószínűségi, azaz statisztikus törvényszerűségeket.

A determinisztikus törvényszerűségek vonatkozásában a Maxwell-elv pusztán azt állítja, ami egyértelmű jellegükből következik, nevezetesen, ha egyértelműek, akkor tér-időbelileg egyetemeseeknek kell lenniük. Ez egyértelműségüknek szükséges feltétele. Ez viszont, mint láttuk, a determinációs viszony tér-időbeli változatlanságát hozza magával; ezért időnként ezt az elvet a szóban forgó összefüggésben abban az általunk már ismert tételben fejezik ki, hogy ugyanazok az állapotok mindig és mindenütt ugyanazokat az állapotokat determinálják. Ebben az eseménybeli változatban, melyet azonban minden egyértelmű kapcsolatra alkalmaznak, a törvényszerűség azt mondja ki,

hogy azonos körülmények között mindig és mindenütt ugyanaz történik, vagy az — oksági összefüggésre vonatkoztatva —, hogy ugyanazok a jelenségek mindig és mindenütt ugyanazokat a jelenségeket okozzák.

Mit jelent azonban a Maxwell-elv a többértelmű, statisztikus törvényszerűségekre alkalmazva? Az ilyen típusú törvényszerűség például: a rendszer meghatározott S_0 állapotának t_1 időben nem egy meghatározott S_n állapot felel meg, hanem az S_n állapotok meghatározott statisztikus eloszlása. Ezzel kapcsolatban időnként többértelmű „determinációról” és többértelmű törvényszerűségről beszélünk; nevezzük ezt statisztikus determinációnak. Ennek mármost „egyértelműséget” tulajdoníthatunk abban a speciális értelemben, hogy az adott állapot az állapotok statisztikusan meghatározott eloszlását determinálja. Tehát itt az adott állapotoknak nem valamely meghatározott állapot, hanem az állapotok meghatározott statisztikus eloszlása felel meg. Nyilvánvaló, hogy a statisztikus determináció így meghatározott egyértelműsége feltételezi az állapotok megismétlődését. Ez utóbbi tér-időbeli jellegével kapcsolatban az egyértelműség maga után vonja a statisztikus determináció tér-időbeli változatlanlanságát. Azt mondhatjuk tehát, hogy ugyanazok az állapotok mindig és mindenütt az állapotok ugyanazon eloszlásait okozzák. Az elmondottak megmagyarázzák, mit kell értenünk a statisztikus törvényszerűségek tér-időbeli egyetemességén, vagyis, milyen értelme van a Maxwell-elvnek az ilyen törvényszerűségekre vonatkozóan. Ez az elv tehát, eseménybeli változtatásban, nemcsak a szó szoros értelmében vett egyértelmű kapcsolatok tér-időbeli változatlanlanságát állítja, hanem az említett értelemben a statisztikusan egyértelmű kapcsolatokat is.

A Maxwell-elv *formális* kifejezésének vagy *metamegfogalmazásának* tekintik azt a fizikai törvényekre vonatkozó állítást, hogy ezek a törvények nem tartalmazzak, illetve nem tartalmazhatnak független változókat — tehát a t időt, valamint az x, y, z térkoordinátákat — explicite, hanem kizárólag impliciten. Ez az állítás nyilvánvalóan teljesül mindazon fizikai törvényeknél, amelyekben az említett változók egyáltalában nem fordulnak elő; ilyen törvények közé tartoznak pl. a koegzisztenciális törvények, amelyek általában nem időbeliek. A probléma azonban nem ilyen egyszerű az olyan törvények vonatkozásában, amelyeknek független változói ténylegesen az idő, valamint a térkoordináták, tehát a differenciálegyenlet alakú törvények vonatkozásában. Ezek az egyenletek akkor tartalmazzák impliciten ezeket a változókat, ha differenciálok vagy különbségek alakjában, nem pedig tiszta alakban, azaz pusztán mint x, y, z, t , tehát explicite fordulnak elő.

A formális Maxwell-elvet, — mint kiderül — kielégítik mindazon eddig ismert determinisztikus törvények, amelyek differenciálegyenletek. Ezek ugyanis kizárólag az állapotváltozók idő szerinti, esetleg a térkoordináták szerinti differenciálhányadosait vagy a koordináták különbségeit tartalmazzák; azaz független változók kizárólag differenciálok alakjában fordulnak elő. Ilyenek például: a mechanikus rendszerek sokszor idézett mozgásegyenletei, az elektromágneses mező Maxwell-féle egyenletei stb. A kívánt tulajdonság jellemzi azokat a nyilvánvalóan vagy nem nyilvánvalóan statisztikus törvényeket is, amelyek differenciálegyenlet jellegűek.

Általában úgy vélik, hogy a Maxwell-elv bemutatott metamegfogalmazása, amely a fizika törvényeire vonatkozik, egyenértékű az ezen elv korábbi tárgyi megfogalmazásával, amely a megfelelő fizikai törvényszerűségekre vonatkozik. Más szóval, az a tény, hogy a törvények nem tartalmazzák expli-

cite az időt és a térkoordinátákat, adekvát módon tükrözi a megfelelő törvényszerűségek tér-időbeli egyetemességét. Fogadjuk el ideiglenesen ezt a nézetet, nem próbálva sem helyességét kimutatni, sem a vele kapcsolatos egyes nehézségeket megvizsgálni; ez ugyanis további fejtegetéseink számára szükségtelen.

Ezzel a kérdéssel bizonyos kapcsolatban van azonban az a felfogás, amelyet a forrás más Maxwell-elvvel kapcsolatosan általában felvetnek, mégpedig az, hogy ez az elv triviális; ezt a kifogást itt nem hanyagolhatjuk el. Ennek az elvnek, hangoztatják a kifogásolók, mindig teljesülnie kell. Például a fizikailag értelmezett differenciálegyenlet esetében, amely független változóként pl. explicite tartalmazza a t időt, a t -t mindig ki lehet küszöbölni az egyenletnek e változó szerinti differenciálásával, vagyis tisztán formai eljárással olyan egyenletet kaphatunk, amelyben a t idő impliciten szerepel.

Ennek fényében a Maxwell-elv az említett változatban csakugyan közhelepszerű megállapítás, ugyanis minden lehetséges törvény-egyenlet eleget tesz neki az említett differenciálási eljárás alapján. Nem csodálatos tehát, hogy azok a szerzők, akik látják ennek az elvnek fontosságát, sőt a determinizmus elvének, illetve az okság elvének rangjára emelik, igyekeznek cáfolni a fenti ellenvetést. Ez a védelem a következőképpen hangzik:

Köztudomású, hogy az egyenletnek a független változók szerinti minden differenciálása egy egységgel növeli az illető egyenlet rendjét. Ha tehát a törvény-egyenletekre valamely posztulátumot írunk elő, amely korlátozza rendjüket, akkor ez a posztulátum kizárná annak lehetőségét, hogy differenciáljuk ezeket a meghatározott rendű egyenleteket, amelyek t -t, illetve x , y , z -t explicite tartalmazzák, vagyis ebben a formában nem tenné lehetővé a független változók tisztán matematikai úton való eltávolítását. E posztulátum alapján a Maxwell-elv egyáltalában nem lenne triviális, mivel nem tehetnének eleget neki azok a törvények, amelyek t -t, illetve x , y , z -t explicite tartalmazzák, s ugyanakkor rendjének korlátja lenne; a posztulátum megsértése, vagyis az ilyen egyenletek differenciálása automatikusan kizárná őket a törvények közül, mert meg nem engedett módon növelné rendjüket.

Ilyen posztulátumot sok szerző, például Margenau¹³ stb. javasol. Hiányossága azonban, hogy meghatározatlan. Egyik metodológus — köztük Morgenau — sem határozza meg pontosan az egyenletek rendjének azt a korlátját, amelynek túllépése kizárná őket a törvények közül. Csak a törvények „nem nagy” vagy „racionálisan kicsi” rendjéről beszélnek, s hivatkoznak a jelenleg ismert fizikai törvényekre, amelyek általában nem magasabbak, mint másodrendűek; hivatkoznak továbbá a tudományos gyakorlatra, amelyben a formális nehézségek miatt igyekeznek elkerülni a magasrendű differenciálegyenletekkel való műveleteket. Ez a meghatározatlanság nem meglepő, mivel minden pontosabb meghatározás nemcsak mesterkélt lenne, hanem egyúttal kizárná a lehetőségét annak, hogy a fizikában viszonylag magasrendű egyenleteket használjunk ott, ahol ez szükségesnek bizonyulhat. Ezért a felhozott ellenérv nem meggyőző, s úgy vélem, a trivialitás ellenvetésének alátámasztását más úton kell keresni.

A Maxwell-elv jobb megértése végett érdemes felhívni a figyelmet az elv fizikai összefüggéseire. Ezt az elvet, mint könnyen kimutathatjuk, kifejezhetjük a következő állítással: a fizika *törvényei kovariánsok*, vagyis nem változók azzal a transzformációval, amely abból áll, hogy a vonatkoztatási rendszer

¹³ Margenau, H.: Id. mű (6/b) 408. o.

kezdőpontját a térben és időben eltoljuk. A törvényeknek ez a változatlansága egyenértékű a nekik megfelelő törvényszerűségek tér-időbeli egyetemességével.

Térjünk át arra a problémára, hogy *milyen viszony van a Maxwell-elv és a determinizmus elve között*. Ebben a kérdésben vita van két egymással szembenálló, egyszersmind szélsőséges álláspont között, amelyek közül véleményünk szerint egyiket sem lehet fenntartani. Az első azonosítja a determinizmus elvét a Maxwell-elvvel, a másik pedig igyekszik e két elv egymástól való függetlenségét kimutatni. Bevezetésül meg kell említenünk, hogy a szerzők, akikről alább szó lesz, a determinációs viszony kvázikauzális koncepciójából kiindulva rendszerint okságilag fogják fel a determinizmus elvét.

Az „azonosító” álláspontnak két változata van. Az egyik, amelyre a többi között Lenzen¹⁴ és March¹⁵ helyezkedik, arra az egyébként deklaratív állításra redukálódik, hogy a determinizmus „általánosított” elve ténylegesen nem fejez ki semmi egyebet, mint a fizikai törvényszerűségeknek — az egzakt, dinamikus, valamint a statisztikus törvényszerűségeknek — tér-időbeli egyetemességét. Más szavakkal: hogy megegyezik a Maxwell-elvvel, ennek általános, minden fizikai törvényre vonatkozó megfogalmazásában. Nem tudunk ellenállni annak a benyomásnak, hogy ez a vélemény durva félreértésen alapszik. Ugyanis a determinizmus elvének egyetlen racionális megragadása — beleértve az itt vizsgált felfogást —, amely nem sérti meg a determinizmus elvének értelmét, sem hivatkozik általában statisztikus törvényszerűségekre, tekintet nélkül arra, hogy tulajdonít-e nekik tér-időbeli egyetemességet vagy sem. Az úgynevezett „statisztikus” determinizmusnak semmi köze sincs a determinizmushoz.

Ezt az ellenvetést elkerüli az említett álláspont egy másik, jobb változata, amelynek fő képviselője jelenleg Margenau.¹⁶ Ez a változat a Maxwell-elvet kifejezetten a pontos, determinisztikus törvényszerűségekre korlátozza, e törvényszerűségeket pedig csak az elszigetelt rendszerekre alkalmazza. Ez megfelelő alap a Maxwell-elv és a jelen elemzésben megfogalmazott determinizmus-elv összehasonlítására. Margenau az így specifikált Maxwell-elvet tekintve a determinizmus elvének, sőt — ahogy mondja — az okság elvének.

Egy lényeges szempont szól ez ellen az álláspont ellen. Mint már írtuk, a determinizmus elve a nomologikus változatban úgy hangzik, hogy minden elszigetelt rendszer számára létezik determinisztikus törvényszerűség, amely összeköti egymással a rendszer állapotait. Az ilyen törvényszerűségeknek, mivel egyértelműek, mint kimutattuk, tér-időbelileg egyetemeseeknek kell lenniük. A Maxwell-elv feltételezi, hogy minden ilyen törvényszerűség rendelkezik ezzel a tulajdonsággal. Ám egyáltalában nem állítja, nem következik belőle az az állítás, hogy minden elszigetelt rendszer számára létezik tér-időbelileg egyetemes determinisztikus törvény, holott a determinizmus éppen ezt állítja. Mindegyik elv tulajdonképpen másvalamit mond ki: a Maxwell-elv az összes determinisztikus törvényszerűségek tér-időbeli változatlanságát, a determinizmus elve pedig azt, hogy éppen ilyen törvényszerűségek vannak az elszigetelt rendszerek területén, vagyis általános jellegüket állítja. Az, hogy az első elv

¹⁴ Lenzen, V. F.: Id. mű 26. o.

¹⁵ March, A.: Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen. Braunschweig, 1955. 36—37. o.

¹⁶ Margenau, H.: Id. mű (6/b) 405. o.

igaz, nem zárja ki, hogy a második hamis; megfordítva azonban ez nem áll, s erre hamarosan visszatérünk. Éppen ezért Margenau tézisé, amely elsziklik a különbség felett, hibásnak tartjuk. Hozzátehetjük, hogy ez az ellenvetés érvényes az ismertetett nézet első változatára is.

Érdeemes megemlítenünk, hogy a Maxwell-elvnek — amelyet gyakran kauzálisan és röviden a következő tétel alakjában fogalmazzunk meg: „azonos okok — azonos következmények” — az okság elvével való azonosítása az efféle különbség figyelmen kívül hagyásán alapul. Ez az állítás csak a természetben előforduló oksági kapcsolatok tér-időbeli változatlanóságát mondja ki, ám egyáltalán nem fejezi ki egyetemességüket, holott éppen ez az okság hagyományos és általánosan elfogadott elvének tartalma. Az okság elve azt a tételt fejezi ki, hogy minden jelenséghez tartozik valamely más jelenség, amely annak oka, vagyis minden jelenség valamely más jelenség által okságilag meghatározott. Mint látjuk, ezek eltérő elvek.

A második álláspontot, amely ellentétben áll a fent előadott elvvel, Feigl,¹⁷ Pap¹⁸ és még sokan képviselik. Ez az álláspont, bár nem túlságosan pontos, mégis igen sok nagyon fontos érvt hoz fel a mellett a tézis mellett, hogy a determinizmus elve független a Maxwell-elvtől. Mivel ezek az érvek lényegbevágóan kapcsolódnak a determinizmus elvének értelméhez és érvényességének kérdéséhez, alaposabban meg kell vizsgálnunk őket.

Annak, hogy kimutassuk ezeknek az elveknek egymástól való függetlenségét, arra a bizonyításra kell visszavezetődnie, hogy először is a Maxwell-elv nem implikálja a determinizmus elvét, és másodszor: a determinizmus elve nem implikálja a Maxwell-elvet. Megjegyezzük, hogy a második megállapítás itt kizárólag a determinisztikus törvényszerűségekre vonatkozik. Az első tézist illetően megállapítjuk, hogy helyességét minden nehézség nélkül tisztáztuk fentebb, amikor Margenauval vitatkoztunk. Mellesleg szólván, az említett szerzők nem tulajdonítanak jelentőséget e tételnek. Ezzel szemben nagy súlyt helyeznek a második tézis megindokolására, s igyekeznek kimutatni, hogy a Maxwell-elv hamisságának nem kell szükségszerűen implikálnia a determinizmus elvének hamisságát, vagyis az utóbbi érvényessége fenntartható annak ellenére, hogy a Maxwell-elv megdől.

Vizsgáljuk meg először azt az esetet, amikor a Maxwell-elv hamisnak bizonyult. Ez a kérdés nemcsak ebben a vonatkozásban fontos, hanem önmagában véve is lényeges. Mivel a Maxwell-elv minden determinisztikus törvényszerűség tér-időbeli egyetemességét mondja ki, ezért az a tétel, hogy legalábbis egyes ilyen törvényszerűségek időben vagy térben változnak, a tagadása. Az irodalomban elsősorban az időbeli változás lehetőségét fontolgatják, főképpen pedig azt a lehetőséget veszik figyelembe, hogy az egyetemes fizikai állandók változnak, mint pl. a k gravitációs állandó, a c fénysebesség stb. Ezek az állandók ugyanis szerepelnek a fizikai elméletek alapvető törvényeiben, s ha az idő függvényeinek bizonyulnának, akkor az említett törvények nyilvánvalóan explicite tartalmaznák a t változót, s a nekik megfelelő törvényszerűségek időbelileg változók lennének. Egy másik eshetőség szerint a determinisztikus törvények struktúrájának egyes elemei — például a hatványkitevő a gravitációs törvényben — az idő függvényeinek bizonyulnának. Mivel az egyetemes

¹⁷ Feigl, H.: Notes on Causality. Reading in the Philosophy of Science. New York, 1953. 412. o.

¹⁸ Pap A.: Id. mű 68. o.

állandókat kísérletileg, mérés útján határozták meg, ezért nincs kizárva, hogy pontosabb mérési eredmények az időtől való függésüket tárhatják fel, tehát kimutathatják a megfelelő törvényszerűségnek az időben való változását. Ezek a megfontolások arra a következtetésre készítetnek, hogy a Maxwell-elv empirikusan megdönthető. Ezt a tényt nemcsak az ismertett álláspont hívei említik, hanem Margenau is. Az ő számára ez további érv amellet, hogy a Maxwell-elv a legkevésbé sem triviális, nem tautológia.

Nem mellőzhetjük itt egyes fizikusok és kozmológusok azon hipotézisét, hogy bizonyos fizikai törvényszerűségek nemcsak változhatnak, hanem ténylegesen változnak is az időben. Feltételezik ugyanis bizonyos egyetemes állandók időbeli változékonyságát, ám oly lassú változását, hogy ennek közvetlen feltárása kozmikus különbségeket igényel a mérési időkben. Ezt a gondolatot 1937-ben Dirac¹⁹ fogalmazta meg, és Jordan²⁰ fejtette ki a kozmológiájában. Azt feltételezik, hogy a gravitációs állandó az időben csökken, vagyis ennek következtében az idő folyamán gyengül a testek közötti gravitációs hatás; ez a változás funkcionálisan összekapcsolódik a „világ életkorával”, s így feltételezik „a világ időbeli kezdetét”. Nem a mi dolgunk e koncepciók értékelése. Ki kell azonban jelentenünk, hogy ezek fölöttébb spekulatív jellegűek, hogy egyelőre tényeket keresnek, amelyek alátámasztanák őket, s ezért általában igen szkeptikusan kezelik őket.

Térjünk azonban vissza az alepvető kérdésre, a második tézist alátámasztó érvelésre, mely szerint a determinizmus elve fenntartható a Maxwell-elv megdőlése ellenére is. Ez az érvelés abban foglalható össze, hogy a világ akkor is rendezett és determinált lenne, ha a determinisztikus törvényszerűségek valóban időbelileg változóknak bizonyulnának, feltéve, hogy ezek a változások szabályos, törvényszerű jellegűek lennének. Akkor ugyanis olyan törvényszerűségek hatnának, amelyek figyelembe veszik az idő hatását a rendszerekben előforduló állapotok változására; éppen ezek a törvényszerűségek lépnének az időben változó determinisztikus törvényszerűségek helyébe. Itt természetesen arról van szó, hogy empirikusan nincs kizárva az ilyen helyzet előfordulása.

Ez a gondolatmenet szükségessé teszi a fogalmak bizonyos pontosabb meghatározását, természetesen a gondolatmenet tartalmának megfelelően. Mindenekelőtt pontosan kell megadni, mi is a determinisztikus törvényszerűség változása az időben. Tételizzük fel, hogy a determinisztikus törvényszerűség alakja a következő: $S_n = f(t, S_0)$, valamint egyszerűsítésképpen tételizzük fel, hogy a T időnek, például a „világ életkorának” a rendszer állapotainak változására gyakorolt hatása csak T nagy különbségei esetén fordul elő, vagyis viszonylag rövid T_1, T_2 stb. korok keretében elhanyagolható, amit már nem tehetünk meg, ha különböző korokat, például T_1 -et és T_2 -t veszünk figyelembe. Ebből az következik, hogy ha T_1 korban az S_0 állapotnak S_1 állapot felel meg, akkor T_2 korban már az S_1 -től különböző, pl. S_2 állapot felel meg neki, vagyis ugyanazoknak az állapotoknak különböző korokban különböző állapotok felelnek meg. A T_1 -ben ható törvényszerűség tehát — mint egyértelmű törvényszerűség — nem hat már a T_2 korban. Éppen ebben az értelemben a törvényszerűség időbelileg nem egyetemes, változik az időben, s ez megköveteli a megfelelő korhoz való relativizálását.

¹⁹ Dirac, P. A. M.: *Cosmological Constants*. „Nature”, 139. köt. 1937.

²⁰ Jordan, P.: *Die Herkunft der Sterne*. Stuttgart, 1947.

Hogyan festene azon — az elemzett álláspont által feltételezett — törvényszerűség, amely figyelembe veszi az idő esetleges hatását az állapotok változására? Úgy véljük, hogy a következő alakú lenne: $S_n = f(t, S_0, T)$, vagyis az S_n mutatná az S_0 és a T kor függvényeként. „Egyértelmű” lenne abban a különleges értelemben, hogy meghatározott S_n állapotnak és meghatározott, pl. T_1 kornak egyetlen meghatározott S_1 állapot felelne meg, ezzel szemben ugyanennek az S_0 és másik, pl. T_2 kornak másik meghatározott, S_2 állapot felelne meg. Az ilyen törvényszerűségnek determinisztikus jelleget tulajdoníthatnánk. Éppen erre támaszkodik az a tézis, amely szerint a determinizmus elve fenntartható a Maxwell-elv esetleges megdőlése ellenére is.

Ezt az álláspontot nehéz támadni. Mégsem tekintjük helyesnek, éspedig meglehetősen banális ok miatt. A vizsgált gondolatmenetben ugyanis nyilvánvalóan megváltozik maga a determinizmus elvének az értelme, ám ezt a szerzők figyelmen kívül hagyják. A fizikusok által közönségesen használt értelemben ez az elv azt mondja, hogy az elszigetelt rendszerekhez tartoznak időbelileg egyetemes determinisztikus törvényszerűségek. Világos, hogy ennek az elvnek meg kell dőlnie a Maxwell-elv megdőlésével. Az a feltételezés viszont, hogy a Maxwell-elv megdőlése ellenére fennmaradhat, határozottan különbözik a fent említett elvtől. A különbség — méghozzá nem is akármilyen különbség — az ezekkel az elvekkel kapcsolatos fizikai törvényszerűségek eltérő jellegében, pontosabban egyértelműségük eltérésében rejlik. Az első esetben a szigorú értelemben vett determinisztikus törvényszerűség esetében, a rendszer állapota egyértelműen kizárólag a rendszer kezdeti állapotától függ. A második esetben, a kvázideterminisztikusnak nevezhető törvényszerűség esetében viszont a rendszer állapota nemcsak a kezdeti állapottól függ, hanem az időbeliekétől is. Csak a T kor-paraméter figyelembevétele teszi egyértelművé ezt a törvényszerűséget. Éppen ez az alapja annak, hogy megszerkeszthető egy lehetséges nem-maxwelli, de mégis determinisztikus világ. Itt azonban a determinizmust határozottan másképpen értelmezzük, mint a fizikában többnyire, sőt általában.

Ez a vita azt mutatja, hogy a mellett az álláspont mellett vagyunk, amely szerint a determinizmus elve a normális és itt vizsgált felfogásban implikálja a Maxwell-elvet — természetesen a determinisztikus törvényszerűségekre korlátozva. Ezeknek a törvényszerűségeknél ugyanis, mivel szigorú értelemben véve egyértelműek, mint már kimutattuk, tér-időbelileg változatlanoknak kell lenniük. A Maxwell-elv tehát a determinizmus elvének szükséges feltétele. Önálló előfeltételezés a valóság struktúráját illetően, amely — mint gyakran mondják — a szabályszerűség tulajdonságát, illetve a természet egyneműségét mutatja, s ez a determinizmus elvének tartós kerete.

Ezért ennek az előfeltételezésnek a megdöntése természetesen implikálja a determinizmus elvének összeomlását. Nem tudunk azonban, legalábbis jelenleg, semmi olyan empirikus tényről, amely a Maxwell-elv ellen tanúskodnék. Ezért nem kell komolyan félnünk, hogy a determinizmus elve erről az oldalról sérelmet szenved. A fizikában egyáltalán nem is ezen a síkon folyik a vita a determinizmus elvének érvényességéről. Kizárólag arról van szó, hogy érvényes-e ez az elv a Maxwell-elv megtartása mellett, amit általában, bár nem mindig explicite, feltételeznek a vitában. Ebből az következik, hogy a Maxwell-elvet nem kezelik a determinizmus elvének elégséges feltételeként.

A determinizmus elvének megdőlése azonban szükségképpen abból áll — s ez logikai struktúrájából következik —, hogy bizonyos rendszerek vagy

rendszer-típusok számára ténylegesen nem létezik determinisztikus törvényszerűség, amely állapotainak változásán uralkodik, vagyis hogy az ilyen rendszer meghatározott állapota nem határozza meg egyértelműen későbbi állapotait. S ebben az esetben fennállhat — bár nem szükségképpen — statisztikus törvényszerűség, amely szerint a rendszer állapota „determinálja” a későbbi állapot meghatározott statisztikus eloszlását. Ekkor — s ez lényeges — nem szabad, hogy ennek a törvényszerűségnek determinisztikus, dinamikus alapja legyen. A statisztikus törvényszerűségeknek természetesen tér-időbeli egyetemességet tulajdonítunk. A Maxwell-elv — általánosan kezelve — tehát fennmarad ebben a helyzetben.

2. A nem-üresség feltételei és a determinizmus elvének verifikálhatósága

Könnyen megállapíthatjuk, hogy a fizikai determinizmus itt vizsgált elve feltételezi: először, elszigetelt rendszerek létezését, másodsor pedig azt, hogy az ilyen rendszerek állapotainak reprodukciója fennáll. Hangsúlyozzuk, hogy ez az elv csupán feltételezi, de nem állítja elszigetelt rendszerek létezését és állapotaik ismétlődését. Ezt szem előtt kell tartanunk.

A determinizmus elvének az előző pontban megadott megfogalmazásában az első feltétel explicite kifejezett. A második feltételt ellenben nem tartalmazza világosan, s csak a determinációs viszony egyértelműségének vagy a determinisztikus törvény egyértelműségének meghatározásában jut kifejezésre; egyébként — az elv értelmének megsértése nélkül — ez a feltétel könnyen explicite is jelezhető benne.

Ezenkívül — az utóbbi feltételt teljesítve — átfogalmazhatjuk az említett elvet oly módon, hogy logikai szempontból semmilyen kétség ne maradjon, hogy éppen erről a feltételtől van szó. Nevezetesen, a determinizmus elvét kifejezhetjük implikáció alakjában, amelynek előtagja ennek a két feltételnek a konjunkciója. Íme, a kívánt megfogalmazás: minden rendszer és a rendszer minden állapota számára, ha a rendszer elszigetelt és állapotai vagy másolatának állapotai ismétlődnek, akkor a rendszer meghatározott állapota determinálja a rendszer összes ennél későbbi állapotait.

Az implikáció formájáról szóló állítást általában csak akkor tekintik empirikusnak, illetve verifikálhatónak, ha előtagja teljesült, igaz. Ugyanis csak az ilyen esetben lehet tapasztalatilag igazolni, azaz verifikálni vagy falszifikálni; e tétel igaz vagy hamis volta ekkor kizárólag a valóságtól függ. Mégis, ha az említett állítás előtagja hamis, akkor az állítás az implikáció funkciójának megállapított jelentésénél fogva igaz; logikai értéke tehát nemcsak a valóságtól függ. Ebben az esetben azt mondjuk, hogy ez a tétel üresen teljesül, illetve üresen igaz, és kikapcsoljuk az empirikus ítéletek köréből. Ezzel kapcsolatosan az implikáció alakú állítás előtagját ezen állítás empirikus nem-üressége, illetve verifikálhatósága feltételének nevezzük, mivel csak e feltétel teljesítése teszi empirikus jellegűvé a vonatkozó állítást.

A fenti nézőpontból kiindulva azt mondhatjuk, hogy az elszigetelt rendszerek létezésére és az állapotaik ismétlődésére vonatkozó feltételek a determinizmus elve empirikus *nem-ürességének feltételei*. Csakis e feltételek teljesítése, vagyis az általuk képviselt előfeltételek igazsága teszi ezt az elvet empirikus, verifikálható állítássá. Más kérdés, hogy pontosan miben áll ez a verifikálhatóság; erre a kérdésre még visszatérünk. Világos, hogy abban az esetben, ha

akárcsak az egyik feltétel nem teljesül, azaz vagy nincsenek elszigetelt rendszerek, vagy bár vannak ilyenek, de a rendszerek állapotai nem ismétlődnek, a determinizmus elve üresen teljesült, mindig igaz. Ha így lenne, akkor nem érdekelné a fizikusokat és a metodológusokat, akik pedig nem zárják ki ennek az elvnek a falszifikálhatóságát, tehát empirikus, igazolható állításként kezelik. Ezért a determinizmus elve empirikus jellegéről szóló tézis megindokolása szempontjából a kulcsprobléma az a kérdés, hogy realizálódna-e és milyen értelemben realizálódna az elv nem-ürességének feltételei.

Az *elszigetelt* rendszerek *létezésének* feltételezése alapvető és logikailag elsődleges feltétele a determinizmus elve nem-ürességének. Ugyanis szükséges premisszája a reprodukció feltételének, amely — mint tudjuk — éppen az ilyen rendszerek állapotaira vonatkozik. Az elszigeteltség meghatározása szerint a fizikai univerzum kétségtávol elszigetelt rendszer, s ez esetben a nem-üresség vizsgált feltétele pontosan teljesül.

Ez azonban nem érdekes a determinizmus elve szempontjából, ha a kis rendszerekre vonatkozik. Ebben az esetben viszont az elemzett kérdés lényegesen bonyolultabbá válik. A kis rendszerek tényleges, reális — akár természetes, akár kísérleti — elszigeteltsége mindig megközelítő, approximatív. Ám a rendszerek átfogó körében ez a megközelítés igen nagy lehet, és tényleges elszigeteltségük lényegében tetszőlegesen közel lehet az abszolúthoz. Az abszolút elszigeteltség definitíve meghatározott fogalma tehát határozottan *határ*-fogalom jellegű, akárcsak több más fizikai fogalom.

Ezzel összefüggésben a nem-üresség itt vizsgált feltétele a kis rendszerek számára ténylegesen megközelítő módon teljesül, elméletileg pontosan viszont kizárólag a fenti ideális határjelentésben teljesül. Ez azt mutatja, hogy maga a determinizmus elve is határozottan határjellegű, s csak ebben az értelemben tekinthető pontos tézisnek. Ebből a szempontból azonban nem kivétel. Ugyanez vonatkozik például az explicit elszigetelt rendszerekre vonatkozó viselkedési törvényekre, valamint minden determinisztikus törvényre, amelyek csak ilyen rendszerek körében hatnak pontosan.

A determinizmus elve az itt vizsgált felfogásban kizárólag az elszigetelt rendszerekre vonatkozik. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a *nyílt* fizikai rendszerek általában kiesnek a determinizmus köréből. Közvetett, laza módon belépnek erre a területre az által a néha alkalmazott eljárás által, hogy elszigetelt rendszerekké *egészítik ki* őket. Ez az eljárás abból áll, hogy a nyílt, azaz a külső hatásoknak kitett rendszerhez testeket és mezőket „csatolnak”, amelyek ezeknek a hatásoknak forrásai, vagy egyszerűen: nagyobb térbeli kiterjedésű és összetettebb rendszert vizsgálnak, amely már eleget tesz az elszigeteltség feltételének. Ennek az eljárásnak alapján a kiinduló nyílt rendszer természetesen valamely elszigetelt rendszer része lesz, ennyiben kapcsolatban van a determinizmus elvével.

Az, hogy a nyílt rendszereket közvetlenül alárendeljék a determinizmus elvének, már ennek az elvnek általánosítását, s — ami ezzel együtt jár — tartalmának megváltoztatását teszi szükségessé. Anélkül, hogy ebbe a bonyolult problémába bocsátkoznánk, érdemes hangsúlyozni, hogy legközelebbi ilyen típusú általánosítások azokra a nyílt rendszerekre vonatkoztathatók, amelyeknek állandó szélső feltételeik vannak, vagyis az adott időintervallumban változatlan külső hatásoknak vannak alávetve, melyek keresztülhaladnak a rendszer felületén, „szélén”. Az ilyen rendszer tetszőleges állapota nemcsak a kezdeti állapottól függ, hanem a rendszer felületének állapotától, azaz a szélső

feltételektől is. Ennek a rendszernek különleges esete természetesen az elszigetelt rendszer, amelyben a szélső feltételek — mint amelyek önmagukat semmivé teszik — szintén állandóak. Ezért a determinizmus itt vizsgált alakjának természetes kiszélesítése, úgy véljük, az állandó szélső feltételekkel rendelkező nyílt rendszerekre vonatkozó elv.

Meg kellene vizsgálni, nem lehetséges-e a determinizmus elvének további általánosítása a nyílt rendszerek még szélesebb osztályára. A kibernetikában, illetve a rendszerek általános elméletében az ilyen elvet igen egyetemes módon fogalmazzák meg. Tartalmában azonban nagyon eltér a determinizmus elvének a fizikában vizsgált formáitól.

Térjünk vissza azonban témánkhoz, s vizsgáljuk meg a nem-üresség következő feltételét, vagyis az elszigetelt rendszerek *állapotainak reprodukciójára* vonatkozó előfeltételezést. Mint mondtuk, az állapotok ismétlődhetnek egy és ugyanazon rendszerben vagy a rendszer másolatainak együttesében. Elemezzük először az első típusú helyzetet. A kérdés irodalmában az állapotok *egy rendszerben* való reprodukciójának kérdése elsőrendű helyet foglal el. Ez gyakran összekapcsolódik azzal a próbálkozással, hogy a determinizmus elvét a fizikai univerzumra, vagyis az egész anyagi világra alkalmazzák. Ebben szerepet játszik a periodikus rendszerek iránti érdeklődés is.

Amikor az univerzumról van szó, a szerzők többsége — többé-kevésbé kategorikusan — elutasítja még a lehetőségét is annak, hogy a világegyetem állapotai megismétlődhetnek. Általában, miként Frank,²¹ Margenau²² és mások is teszik, arra hivatkoznak, hogy az univerzum állapotváltozóinak száma — ha nem is bizonyosan, de valószínűleg — végtelen, s ennek következtében az állapotok megismétlődésének lehetősége minimális. Azt is hangsúlyozzák, hogy a végtelen számú változó által definiált állapotok általában már többé nem meghatározottak, ez pedig kizárja a differenciálegyenletek alkalmazhatóságát időbeli változásaik leírására. Ezek az egyébként nem túlságosan világos és részben spekulatív érvek alkotják annak a következtetésnek alapját, hogy a determinizmus elve az univerzumra vonatkoztatva, tehát *holisztikus* jellegűen ténylegesen üresen teljesül, vagyis ebből következőleg nem empirikus állítás.

Nézetünk szerint ebben a problémában az alapvető kérdés az univerzum állapotának meghatározása, ezt pedig valamely egyetemes fizikai, illetve kozmológiai elméletnek kell feladatául kitűznie, s amíg nincs ilyen elmélet, a világ állapotainak reprodukciójáról szóló vita meddő, bár az előbb ismertetett érvekben vannak hasznos elemek is. Ezért nyitott probléma marad, vajon a determinizmus holisztikus elve verifikálható-e vagy sem. Így hát a legésszerűbb, ha általában — legalábbis egyelőre — nem bocsátkozunk a determinizmus elvének ezzel a változatával kapcsolatos fejtegetésekbe. A metodológusok többsége a gyakorlatban ezt az eljárást követi, és figyelmet a determinizmus ügynevezett *disztributív* elvére összpontosítja; ez nem egyetlen rendszerre vonatkozik, mint a világegyetem, hanem kis, elszigetelt rendszerek együtteseire, amely rendszerekben általában kevés állapotváltozó vagy kevés ilyen változó-típus van. Ebből a szempontból a determinizmus disztributív elvének tartalma, empirikus jellege és érvényességi köre alkotja a determinizmus tudományosan feldolgozott problematikájának magvát.

²¹ Frank, Ph.: Id. mű 50—51., 241—242. o.

²² Margenau, H.: Id. mű 524. o.

A kis fizikai rendszerekben az állapotok reprodukciója sok okból következően mindig lehetséges. Ez a lehetőség bizonyos viszonylag egyszerű esetekben és nyilvánvalóan periodikus rendszerekben realizálódik. Az ilyen rendszerekhez tartoznak mindenekelőtt a mechanikus, elektromos, valamint optikai oszcillátorok, amelyeknek változásain periodikus jellegű determinisztikus törvényszerűségek uralkodnak. A „realizálódik” kifejezést itt igen speciális értelemben használjuk. Az a kérdés, hogy milyen körülmények között beszélhetünk erről a realizálódásról. Lényeges premissza itt a rendszer izolációja. Ha ez abszolút, akkor az említett típusú rendszerekben pontosan reprodukálódnak az állapotok. Ha azonban az izoláció nem tökéletes, akkor az állapotok reprodukálódása megközelítő. Ám minél jobb az elszigetelődés foka, az állapotok a rendszer fejlődésének következő szakaszában annál inkább közelednek az előző szakasz állapotaihoz. Az állapotok ismétlődésének fogalma tehát *határjellegű*. Ezért a nem-üresség itt vizsgált feltétele ténylegesen megközelítő módon teljesül, elméleti szempontból azonban a fenti határértékben valósul meg, amikor a rendszerek teljesen elszigeteltek.

Az összetett rendszerekben, amelyek nem határozottan periodikusak, az állapotok ismétlődésének előfordulására vonatkozó kérdés sokkal bonyolultabb. Az ilyen rendszerek közé tartoznak például a sok anyagi pontból összetevődő rendszerek. Mármost a Poincaré—Caratheodory-teoréma szerint bizonyos korlátozó feltételek mellett a rendszer állapota, amely már előfordult, tetszőleges megközelítéssel, megfelelően hosszú idő alatt tetszőleges számú esetben megismétlődik. Ez az elszigetelt mechanikus rendszerek kvázi-periodicitásának tézise. Jóllehet ez a tézis csak megközelítő reprodukciót mond ki, magában rejtje azt a lehetőséget, illetve valószínűséget, hogy az állapotok pontosan megismétlődnek az ilyen rendszerekben.

Világos, hogy az ismétlődések előfordulása valamely rendszerben — valamint másolatainak együttesében — közvetlenül empirikus kérdés, vagyis arról, hogy az adott rendszerben előfordul-e reprodukció vagy sem, véglegesen csak a tapasztalat tájékoztat bennünket. Ha az adott rendszert megfigyeljük, és megmérjük állapotait az adott időintervallumban, megállapítjuk vagy nem állapítjuk meg bizonyos állapotok ismétlődését. Az első esetben — a mérési hibahatárokon belül — bizonyosak vagyunk, hogy a reprodukció ténylegesen bekövetkezik. Itt a megfigyelés időintervalluma nagyobb a rendszerben végbemenő ismétlődések idejénél; ezért a „nyilvánvalóan” periodikus meghatározást használjuk a fent említett oszcillátorokra. A második esetben nem lehetünk biztosak benne, hogy a rendszer állapotai reprodukálhatatlanok. Annak oka ugyanis, hogy az adott megfigyelési intervallumban nem mutatkozik reprodukció, esetleg egyáltalán nem az, hogy ténylegesen nem lép fel ismétlődés, hanem egyszerűen az, hogy ez az intervallum rövidebb a reprodukció tényleges időszakánál. Ezért beszélünk „nem nyilvánvalóan” periodikus rendszerekről; pontosabban szólva, olyan rendszerekről kellene beszelnünk, amelyekben az ismétlődések nem nyilvánvalóak, mivel a rendszer állapotainak ismétlődése még nem implikálja a rendszer periodicitását, bár megfordítva ez áll. Természetesen, néha meg lehet és meg is kell hosszabbítani a megfigyelési intervallumot, s így módon csökkenteni a hiba valószínűségét. Ám sohasem lehetünk teljesen bizonyosak — a közvetlen tapasztalat szempontjából, és nem a rendszer valamely sajátos jellemzői szempontjából, amelyek a rendszer megfordíthatatlanságát mutatják —, hogy a rendszerben nem következik be reprodukció. Lehetséges ugyanis,

hogy az ismétlődések időszaka igen hosszú, jóval a megfigyelési intervallum határain túl húzódik. A fenti helyzet mutatja, milyen nehézségekbe ütközik annak a tézisnek²³ a megcáfolása, hogy bizonyos típusú rendszerekben ismétlődések lépnek fel. Ezzel kapcsolatosan érdemes megemlíteni, hogy egyesek, például Frank,²³ a reprodukció feltételét a gyakoriság posztulátumával erősítik meg, vagyis azzal a követelménnyel, hogy a rendszer állapotai viszonylag rövid időszakon belül ismétlődjenek meg. Véleményünk szerint ez a posztulátum nem tartozik a kérdés lényegéhez, azaz a reprodukció előfordulásához általában, hanem csak arra vonatkozik, hogy mennyire könnyen verifikálható a determinizmus elve.

Jóllehet az a kérdés, hogy egy és ugyanazon rendszerben előfordul-e az állapotok reprodukciója, már magában véve is érdekes, a determinizmus elve disztributív változatának szempontjából nem lényegbevágó. Ha ugyanis az adott rendszerben az állapotok ténylegesen nem ismétlődnek — ez az igen összetett vagy megfordíthatatlan állapot-vonalú rendszerekben fordulhat elő —, akkor a reprodukció feltételének teljesítéséhez elegendő, hogy az ismétlődések a rendszer *másolataiban* forduljanak elő. Az adott elszigetelt rendszer másolatán olyan rendszert értünk, amelynek állapotait ugyanazok a változók határozzák meg, mint az első rendszer állapotait, és amelyek összegezett energia-értéke azonos az eredeti rendszer összegezett energia-értékével; az utóbbi ismérv azért fontos, mert az első tulajdonsággal rendelkező, de a másodikkal nem rendelkező rendszereknek nem lehetnek ugyanolyan, vagyis közös állapotaik, mert a rendszer állapota pontosan meghatározza a rendszer energiájának értékét.

A rendszer másolataiban való reprodukció-előfordulás feltétele bár elegendő, de gyengébb annál a feltételnél, hogy a reprodukció magában a rendszerben forduljon elő. Az utóbbit gyakran feltétlenül szükségesnek tekintik, mint például Frank. Ezt az álláspontot — mint általános nézetet — helytelennek tartjuk. Csak a determinizmus-elv holisztikus változatának esetében van létjogosultsága, vagyis akkor, amikor az egyetlen rendszert alkotó univerzumot vizsgáljuk. A kis rendszerek azonban megsokszorozódnak, másolataik vannak, bár ezek a valóságban csak hasonlítanak az eredetiekhez, s ez az azal a kérdéssel kapcsolatos, hogy a rendszernek és másolatainak azonos energiatartalmuk van. Az állapotoknak a rendszerek másolataiban való reprodukciója viszont empirikusan nem ritka jelenség. A fizikai realitásnak éppen ez az ismérve teszi lehetővé, hogy a reprodukció feltételét gyengítsük oly módon, hogy a rendszer másolataira vonatkoztatjuk, amikor a determinizmus disztributív elvéről van szó. Ezt nemcsak azért minősítjük gyengébbnek, mert a rendszereknek másolataik vannak, ami önmagában véve valószínűvé teszi a rendszerek állapotainak megismétlődését, hanem azért is, mert ez — mint mondtuk — olyan rendszerek vonatkozásában is teljesülhet, amelyekben ténylegesen nem ismétlődnek meg az állapotok. Nem is beszélve arról, hogy ez a feltétel lényegesen megkönnyíti a determinizmus elvének verifikálását. Frank erős feltétele a megfordíthatatlan rendszereket kifejezetten kizárja a determinizmus elvének köréből, s nézetünk szerint ez az egyetemesség jogosulatlan leszűkítése. Világos, hogy a reprodukciónak általánosan felfogott feltétele nemcsak az állapotoknak a másolatokban végbemenő reprodukciójára terjed ki, hanem magukban a rendszerekben végbemenő reprodukciójára is, ha ez ténylegesen előfordul.

²³ Frank, Ph.: Id. mű 230—232. o.

A reprodukció feltételének teljesítésére vonatkozó kérdéssel közvetlenül összefügg egy bizonyos tendencia, amelyet Frank,²⁴ Feigl²⁵ és mások képviselnek; ez a determinizmus elvének *megközelítő* értelmezésére törekszik. Alapját nem annyira az állapotok pontos reprodukciójának valóságos előfordulását, hanem az illető kétségek alkotják — melyek, mint mondtuk, főképpen a rendszer elszigeteltségének problémájával és az ideális másolatok létezésével kapcsolatosak —, mint inkább az az ismert és vitathatatlan tény, hogy a tapasztalatban, mérések útján sohasem állapíthatjuk meg az állapotok pontos ismétlődését, hanem be kell érniük az állapotok *megközelítő* reprodukciójának megállapításával. De még ha a reprodukció ideális is lenne, akkor sem tudnánk a mérés szó-rása következtében megállapítani.

Az a tendencia, amelyről szó van, a determinációs viszony egyértelműségének liberálisabb, illetve lazább meghatározásához vezet; ez abban a megfogalmazásban jut kifejezésre, hogy hasonló állapotok hasonló állapotokat determinálnak, s hasonló állapotokon — általában véve — az adott rendszert jellemző összes változók értéke tekintetében egymáshoz közelálló állapotokat értünk. A determináció így felfogott egyértelműsége csak hasonló állapotok előfordulását, vagyis *megközelítő* reprodukciójukat feltételezi. Ez természetesen a nem-ürességnek gyengébb feltétele, mint az eddig vizsgált előfeltételezés, amelyben ugyanazoknak az állapotoknak előfordulásáról, azaz pontos reprodukcióról van szó. Ez közvetlenül a determinizmus elvének úgynevezett *megközelítő* megfogalmazásához vezet, amely a pontos megfogalmazástól éppen a reprodukció gyengébb feltételében különbözik.

Első pillantásra a determinizmus elvének ez a helyesbítése igen vonzónak tűnhet. Hiszen kétségtelenül a tapasztalathoz közelebb, idomítja a determinizmus elvét, midőn gyengíti a reprodukció feltételét, amely ilyen alakban ténylegesen már nem *megközelítőleg*, hanem pontosan teljesül. Ha következetesen az analóg álláspontra helyezkedünk, akkor továbbmehetünk, és liberalizálhatjuk a determinizmus elv nem-ürességének második feltételét, amely az elszigetelt rendszerekre vonatkozik; ekkor csupán *megközelítő* elszigeteltséget követelünk, s ténylegesen ezzel van dolgunk.

Az elméleti téziseket „hozzáidomító” módon *megközelítő* álláspontban azonban, mely itt kifejezésre jut, s a neopozitivisták empirizmusra jellemző, elvész e tézisek pontos tartalma, elméletileg szegényekké válnak, ez a *megközelítés* ugyanis kiküszöböli a határfogalmakat, amelyek az elméleti tézisekben fontos szerepet játszanak. Az elméletnek a tapasztalathoz idomítását a tudományban nem ezen az úton végzik, amely a pontos elméletről való lemondást jelenti, s egészen bizonyos, hogy a határtéziseket nem módosítják a fent említett módon. Az ismertetett empirikus *megközelítés* csak egy célt szolgál, a pontos igazolhatóságot; ezzel kapcsolatban van gyakorlati jelentősége. Ezt a célt azonban igen primitíven, a legkönnyebben, s ezért a túl magas áron kívánják elérni.

Ha konkrétan a determinizmus elvéről van szó, *megközelítő* megragadása kétségtelenül pontatlan. Ez közvetlenül következik az állapotok közti hasonlóság viszonyának meghatározatlanságából, ebből pedig az következik, hogy meghatározatlan viszony egyértelműségének definíciója. Mely állapotok hasonlóak egymáshoz, és melyek nem? Hol ér véget a hasonlóság, és hol kezdődik

²⁴ Uo. 174—175. o.

²⁵ Feigl, H.: Id. mű 410. o.

köztük a különbség? Ezt a hiányosságot, bárcsak részben, kiküszöbölhetjük úgy, hogy az állapot-vonal folytonosságára hivatkozunk. Ekkor hasonló állapotoknak tarthatjuk azokat, amelyek, ha időbelileg tetszőlegesen közel helyezkednek el egymáshoz, a megfelelő állapotváltozók értékét illetően tetszőlegesen kevésbé különböznek egymástól. Ez a kiút azonban elméletileg nem oldja meg a kérdést, s az empirikusokat sem elégítheti ki, mivel itt a hasonlóság differenciális meghatározásáról van szó, s ezt nekik a mérésekre és a pontos verifikálhatóság posztulátumára való tekintettel sokkal átfogóbban kell kezelniük.

E helyütt érdemes megemlíteni, hogy az állapotvonal folytonosságával és a precíz reprodukció feltételezésével kapcsolatosan a reprodukció a megközelítő, differenciális típusú reprodukciót implikálja. Ezen az alapon a determináció egyértelműségének pontos meghatározása: „ugyanazok az állapotok ugyanazokat az állapotokat determinálják”, logikusan maga után vonja ugyanennek a tulajdonságnak megközelítő, differenciális meghatározását: „hasonló állapotok hasonló állapotokat determinálnak”. Ha ugyanis az S_1 állapot t_1 időben az S_2 állapotot determinálja, akkor nyilvánvaló, hogy az S_1 -hez (differenciálisan) hasonló S'_1 állapot t_1 időben az S_2 -höz (differenciálisan) hasonló S'_2 állapotot determinálja.

A bírált tendenciával folytatott vitának, valamint egyéb tényezőknek eredménye, hogy a metodológusoknak és a fizikusoknak ha nem is többsége, de legalábbis jelentős része a determinizmus elvének pontos megfogalmazásával operál, s teljesen tisztában van vele, hogy ezen elv nem-ürességének feltételei — tehát mind az állapotok reprodukciójának, mind a rendszerek elszigeteltségének előfeltételezése — határ-jellegűek, s ezért ténylegesen és még inkább a tapasztalatban csak megközelítő módon valósulnak meg.

Miként e pont elején említettük, a determinizmus-elv nem-üressége feltételeinek teljesítése az elvet empirikus, tapasztalatilag igazolható állítássá teszi, vagyis olyanná, amelyet a tapasztalat egyaránt igazolhat és megdönthet. E tézis megindokolása természetesen szükségessé teszi, hogy megmagyarázzuk, milyen értelemben használjuk itt a verifikálhatóság fogalmát. Ez különösen azért fontos, mert e fogalom definíciójának számos koncepciója van, s némely koncepció szerint a determinizmus elve verifikálhatatlannak bizonyul.

Azzal kapcsolatban, hogy ez az elv — bár nem nyilvánvalóan — metrikus jellegű, verifikálhatóságának kérdését két síkon kell szemügyre vennünk. Először eseteire, másodszor pedig az esetek kísérleti lemintázásának módjára vagy pontosságára való tekintettel. Ezenkívül a verifikálhatósággal összefüggésben mindkét síkon figyelembe kell venni a verifikálhatóságot és a falsifikálhatóságot.

Vizsgáljuk meg sorjában ezeket a síkokat. A verifikálhatóság olyan jellemzésének kiindulópontja, amely jellemzés adekvát a tudományban ténylegesen végzett, kétségtől az, hogy a jelenlegi és a történeti tapasztalatban egyaránt mindig csak véges és rendszerint nem túl nagy, vagyis gyakorlatilag véges számú empirikus adattal rendelkezünk, amely az adott tétel igazolására vagy megdöntésére szolgálhat. Ezért — egyelőre a kérdést csak a verifikálhatóságra korlátozva — minden általános tétel csak gyakorlatilag véges számú lépéssel igazolható, s mindegyik ilyen lépés e tétel valamely konkrét esetének empirikus megállapításából áll. Ha a tétel finit jellegű, azaz véges, méghozzá gyakorlatilag véges számú esete van, akkor határozottan igazolható. Ha viszont — nem szükségképpen pontos, de legalábbis gyakorlati értelemben infinit jellegű, akkor csak részben igazolható, vagy mint gyakran mondják:

valószínűleg, illetve induktíve igazolható. A lépések gyakorlatilag véges számú együttese ugyanis nem merítheti ki összes eseteit.

Az igazolhatóságnak éppen az így meghatározott fogalmát alkalmazzuk a determinizmus elvére. Ez az elv mint általános tétel minden elszigetelt rendszerre, valamint az ilyen rendszerek minden állapotára vonatkozik. Ezzel összefüggésben megállapíthatjuk, hogy kettős egyetemesség jellemzi. Az elszigeteltség feltételét teljesítő — reális és lehetséges — rendszerek száma, ha nem is végtelen, de legalábbis igen nagy, viszont akár egyetlen rendszer állapotainak száma is végtelen, ami az állapotvonal folytonosságából következik. A determinizmus elve tehát gyakorlatilag infinit jellegű tétel, tekintettel az elszigetelt rendszerek számára, és szorosan infinit jellegű tétel, az ilyen rendszerek állapotainak száma miatt. Röviden: végtelen számú esete van. Az előző fejtegetésekből tehát az következik, hogy a determinizmus elve csak *részlegesen, valószínűség alapján igazolható*, ám sohasem véglegesen, s a fizikai makrorendszerek széles körében ténylegesen csak valószínűleg, azaz bizonyos, bár nagy, valószínűségi fokkal igazolták, illetve indokolták.

Ilyen típusú igazolhatóság jellemzi a fizika törvényeinek többségét, amelyek határozottan infinit jellegű tételek; ez különösen a determinisztikus törvényekre vonatkozik. A determinizmus elve ebből a szempontból tehát nem foglal el valamilyen kivételes helyet, csak általánosságával különbözik az említett törvényektől. Ezért a valószínűségi igazolhatóságot el lehet és el is kell fogadni.

Sokkal egyszerűbben áll a dolog a determinizmus elvének falzifikálhatóságával. Minden általános tétel szintén csak véges számú lépésben dönthető meg; mindegyik lépés a tétel ellen-esetének megállapításából áll, ugyanis a tapasztalatban csak ilyen számú adattal rendelkezünk. Ha a tétel tisztán általános és nem pl. egyetemes-egzisztenciális — s közömbös, hogy finit vagy infinit jellegű —, akkor definitív, végleges módon megdönthető; elméletileg ehhez elegendő egyetlen egy ellenesetének megállapítása. Mivel pedig a determinizmus elve tisztán egyetemes tétel — legalábbis a fent említett verzióban —, ezért véges számú lépésben falzifikálható. Ebből a szempontból sem kivétel. Ilyen fajta falzifikálhatóság jellemzi a fizika azon törvényeit, amelyek tisztán általános tételek.

Kimutattuk már, hogy a determinizmus elve az esetek két csoportjában megdönthető. Először akkor, amikor bizonyos determinisztikus törvények időbelileg változóknak (vagy esetleg térbelileg változóknak) bizonyulnak, ugyanis nincs kizárva az egyetemes állandó időbeli változékonysága. Másodszor viszont akkor — és a fizikusokat főképpen az érdekli —, amikor kiderül, hogy bizonyos rendszerek számára nem léteznek determinisztikus törvények, azaz az ilyen rendszerek állapotai között nincs egyértelmű determinációs viszony. Mármost gyakorlati szempontból a determinizmus elvét csak akkor kellene elvetni, ha sikerülne feltárni a rendszereknek egész együttesét vagy meghatározott típusát, amelyre nem érvényes a determinizmus elve, vagyis az ellenesetek egész együttesét mutatná be. Lehetséges ugyanis, hogy az egyes ellenesetek eset a mérési pontatlanság következménye. Ezért az elv falszifikálhatóságának kérdése bizonyos fokra bonyolultabbá válik.

Ez a megjegyzés elvezet a determinizmus elve verifikálhatóságának második aspektusához, amely azzal a kérdéssel kapcsolatos, hogy mennyire pontos az elv eseteinek kísérleti lemintázása. Annak a módszernek elemzése, amelynek segítségével ténylegesen igazolják ezt az elvet, azt mutatja, hogy nemcsak

hogy részlegesen, hanem egyúttal pontatlanul is, *megközelítőleg igazolható*. Az említett módszer természetesen a mérési eljárás, amely arra szolgál, hogy tájékoztatást kapjunk a változók értékéről. Mármost annak érdekében, hogy pontosan megállapítsuk, fennáll-e determináció a rendszer állapotai között, legalább néhányukat pontosan meg kell mérnünk, meg kell állapítanunk megismételhetőségüket, valamint meg kell vizsgálnunk azokat az állapotokat, amelyek ugyanazon állapotok után, ugyanabban az időben következnek. Ez azonban gyakorlatilag lehetetlen, mert az állapotokra vonatkozó mérési adatok sohasem pontosak, információ-tartalmuk mindig bizonyos szórást mutat. Az adott állapotra vonatkozó információnak tehát mindig az adott állapot időbeli környezetéből való sok állapot felel meg. Ezért nem lehet pontosan megállapítani az állapotok közti determinációs viszonyt.

A dolgok ilyen állásában két előfeltételezés segít. Először — mint már említettük — feltételezzük az állapot-vonal folytonosságát. Ezzel kapcsolatosan feltételezzük, hogy az adott állapotra vonatkozó mérési információnak a valóságban nem sok, egymástól teljesen különböző állapot felel meg, hanem egymástól kevésbé különböző, kvázi-differenciálisan hasonló állapotok, vagyis a mért állapot időbeli környezetéből származó állapotok. Ez az információ tehát nem teljesen hibás, hanem csak pontatlan. Ez a kérdésfeltevés lehetővé teszi, hogy a mérést olyan eljárásnak tekintsük, amely legalábbis megközelítő módon lehetővé teszi annak a kérdésnek az eldöntését, hogy a rendszer bizonyos állapotai között van-e determináció vagy sem. Másodszor, feltételezzük, hogy — legalábbis a makrofizikában — elméletileg lehetőség van a szóráshatár zérusra csökkentésére a mérési információban; ennek a gyakorlatban megfelel a mérőműszerek állandó tökéletesedése, így a technikai haladás arányában egyre pontosabb információkat kapunk. Ezzel kapcsolatban az idő folyamán az információk, bár sohasem zárják ki a hiba lehetőségét, egyre hiteltérdemlőbbek, mert csökken a mérési eredmények mindig meglevő szóródása. Ez a determinizmus elvének igazolhatósága kérdésében optimizmussal tölt el bennünket.

Meg kell említenünk, hogy hasonló helyzetben vannak a fizika összes metrikus törvényei, amelyeket nem pontos mérési információk alapján állapítanak meg és igazolnak. Egyébként, a determinizmus elvének igazolása a rendszerek meghatározott osztályában tulajdonképpen nem jelent semmi mást, mint az illető osztály számára feltételezett, meghatározott determinisztikus törvény verifikálását. Ez azt mutatja, hogy a csupán megközelítő, pontatlan igazolhatóság: tömegjelenség.

A determinizmus elvének falzifikálása természetesen szintén csak mérés útján lehetséges. Tehát ez az elv szintén csak *megközelítőben*, approximative *falzifikálható*. Ez azt jelenti, hogy nem állíthatjuk szigorúan, hogy a rendszer állapotai között ténylegesen nem áll fenn determinációs viszony. Ezt a kérdést csak megközelítőleg dönthetjük el. Ezért a determinizmus elvének a rendszerek meghatározott osztályában való összeomlását illető különböző feltételezések alapvető empirikus kutatásokat kívánnak meg. Nyilvánvaló, hogy a metrikus törvények falzifikálásának ugyanez a jellege. Összefoglalva: a determinizmus elve a tapasztalatban csak részlegesen, valószínűségként, egyszersmind megközelítőleg igazolható, viszont határozottan, de ugyancsak megközelítőleg falzifikálható.

3. A determinizmus elve és a pontos előreláthatóság elve

A fizikai determinizmusnak az előző pontban elemzett elvét *ontológiailag* kezeljük, azaz mint olyan tételt, amely a fizikai valóságra vonatkozik, és e valóságnak, illetve a valóság struktúrájának bizonyos specifikus tulajdonságát állapítja meg. E tekintetben a fizikai törvényekkel azonosnak vesszük, de nem feledkezünk meg róla, hogy ez utóbbiak kevésbé általános és jobban körülírt jellegűek. A fenti álláspont — a determinizmus elvének természetére vonatkozóan — bár nem egyedülálló, de se nem uralkodó, se nem általánosan elfogadott. Sok fizikus és a fizika sok metodológusa ebben a kérdésben másik, látszólag homlokegyenest ellenkező álláspontra helyezkedik, amelyet *episztemológiai* nevezhetnénk. Az episztemológiai álláspont arra vezethető vissza, hogy a determinizmus elvét mint olyan tételt kezeli, amely bizonyos megismerési eljárás realizálásának lehetőségére vonatkozik, nevezetesen: megállapítja, hogy a rendszer valamely állapotát pontosan előre láthatjuk egy más állapotának és a megfelelő törvénynek az ismerete alapján.

A fenti két álláspont közelebbi szemügyre vétele alapján megállapíthatjuk, hogy a köztük levő alapvető különbség a determinációs viszony fogalmának eltérő értelmezésére épül. Az ontológiai koncepció kiinduló pontja ennek a viszonynak tárgyi felfogása, vagyis olyan felfogása, amely szerint ez a viszony legalább néhány olyan fizikai rendszer állapotai között fennálló valóságos viszony, amely rendszerek kielégítik az elszigeteltség feltételét.

Ez az értelmezés realizisztikus és materialista nézőpontból, amelyet mi is képviselünk, természetesnek és egyedül elfogadhatónak tűnik. Keretei között helyezkedik el a determinációs viszonynak mind kauzális, mind pedig akauzális értelmezése. Az episztemológiai koncepció kiindulópontja viszont a determinációnak a fentitől eltérő megragadása, amelyet időnként prognosztikusnak neveznek. Most mindkét koncepciót részletesen bemutatjuk, magyarázzuk, és kritikailag elemezzük.

A determináció prognosztikus definícióját legpontosabban megfogalmazva Schlicknél²⁶ találhatjuk meg. Ez abban a tézisben fejeződik ki, hogy „a rendszer S_1 állapota *determinálja* e rendszer S_2 állapotát” állítás ugyanazt jelenti, mint a következő állítás: „ha pontosan ismerjük az S_1 állapotot és a megfelelő L differenciális törvényt, akkor *kiszámíthatjuk* az S_2 állapotot.” A determináció tehát — amint Schlick²⁶ írja — a kalkulus lehetőségét jelenti, semmi egyebet. Számára ez egyben a jelenségek közötti oksági összefüggés meghatározása, mivel az a véleménye, hogy ez az összefüggés mindenekelőtt a jelenségek determináltságából áll. Hasonló, már közvetlenül az oksági összefüggésre vonatkozó definíciót ad Łukasiewicz,²⁷ amikor azt állítja, hogy F tényt a G tény okának nevezzük, ha F a G -nél korábban történik, és az ismert törvények alapján az F tényt leíró tételből következtethetünk a G tényt leíró tételre. Ugyanez a megfogalmazás fordul elő Poppernél.²⁸ Látjuk tehát, hogy a prognosztikus értelmezés módszere vagy inkább módja sem kerülte meg az oksági összefüggést, amelynek reális, tárgyi jellegét illetően semmi kétséget sem táplálhatunk. Térjünk vissza azonban a determinációhoz.

²⁶ Schlick, M.: Causality in Everyday Life and in Recent Science. Readings in Philosophical Analysis. New York, 1949. 525–526. o.

²⁷ Łukasiewicz, J.: O determinizmie. Z zagadnień logiki i filozofii. Varsó, 1961. 119. o.

²⁸ Popper, K. R.: The Open Society and Its Enemies. II. köt. London, 1945. 342. o.

A determináció fenti jellemzése egy sor további magyarázatot tesz szükségessé. Elsősorban tisztázni kell a benne foglalt „kiszámítható” kifejezés tartalmát. Schlick, sok más szerzővel együtt, azonos jelentésűnek tartja azzal a megfogalmazással, hogy: „*deduktív módon következtethetünk*”. Ha ez így van, akkor azzal kapcsolatban, hogy a tételek között a következtetés viszonya áll fenn, a fenti meghatározást a következőképp kell átfogalmaznunk: „Ha pontosan ismert az S_1 állapot és a megfelelő L törvény, akkor az S_1 állapotot leíró „ S_1 ” tételből deduktíve következtethetünk az S_2 állapotot leíró „ S_2 ” tételre”. Jelenségekről szóló tételből ugyanis nem következtethetünk jelenségekre, s ez természetesen teljesen triviális.

Továbbá, jövőbeli jelenségekről szóló tételeknek az ismert jelenségekre vonatkozó tételekből és a törvényekből való levezetését a módszertanban előre-látásnak, illetve prognóziskészítésnek nevezzük, s a jövőbeli jelenségről szóló tételt prognózisnak nevezzük. Érdemes megemlítenünk, hogy jelenleg az előre-látás fogalmát kiterjesztik a múltbeli jelenségekre is; ezért a prognózisnak nem kell szükségképpen a jövőbeli jelenségekre vonatkoznia. Itt azonban ennek a fogalomnak szűkebb értelmezésére szorítkozunk, mivel ez teljesen kielégítő. Ezzel kapcsolatban a szóban forgó definíció ténylegesen azt mondja ki, hogy *lehetséges előre-látni* valamely állapotot valamely más állapot és a megfelelő törvény ismerete alapján. Egyébként maga Schlick is ír erről mellékesen.

Könnyen megállapíthatjuk, hogy itt *pontos* előre-látásról van szó, először abban az értelemben, hogy a következtetés útján kapott prognózis egy valamely meghatározott állapotra vonatkozik, és nem pl. az állapotok statisztikus eloszlására; másodsor — ami az előbbivel kapcsolatos —, abban az értelemben, hogy a prognózis pontos, illetve pontosnak kell lennie, azaz pontosan tükrözi a tényleges jövőbeli állapotot. Tudjuk azonban, hogy a prognózisok sohasem pontosak. Ezért a szemügyre vett definíció határjellegű, ezt hangsúlyozza az a benne előforduló feltétel, hogy „pontosan” ismernünk kell az S_1 állapotot és az L törvényt, mivel csakis e feltétel teljesítése biztosíthatja a pontos előre-látást.

A második — bonyolultabb — kérdés az a tény, hogy az előre-látás eljárásának immanens tulajdonságként általában — és ezt Schlick is erősen hangsúlyozza — *hatékonyságot*, illetve helyességet tulajdonítanak. Ez abból áll, hogy a következtetett prognózisnak meg kell felelnie a valóságnak, azaz az általa kimondott állapotnak ténylegesen be kell következnie, más szóval, a prognózisnak igaznak kell lennie. Aligha nevezhetjük ugyanis előre-látásnak azokat az előre-látásokat, amelyek nem adnak igaz prognózisokat. Ez megfelel annak a köznapi intuíciónak, amely szerint „valamely jövőbeli jelenséget előre-látni” azt jelenti, hogy „már ma tudjuk, hogy bekövetkezik”. A hatékony előre-látásnak természetesen szükségszerű feltétele az az előfeltételezés, hogy a következtetés premisszái — vagyis az „ S_1 ” tétel és az L törvény — helyesek. Ekkor az „ S_1 ”, L és „ S_2 ” közti logikai következtetés folytán bizonyosak lehetünk benne, hogy az „ S_2 ” prognózis igaz. Ám sohasem lehetünk bizonyosak az „ S_1 ” tétel és az L törvény igazságában. A beljük vetett bizalmunk mindig bizonyos fokig empirikus igazoláson alapul, s ez elsősorban az L törvényre vonatkozik. Ennek következtében sohasem százszázalékos az „ S_2 ” prognózis igazságát illető bizonyosságunk. Ezért, hogy véglegesen meggyőződhezzünk az „ S_2 ” prognózis helyességéről, meg kell várni azt az időt, amikor be kell következnie az S_2 állapotnak, s akkor kell a prognózist verifikálni, mert lehetetlen igazolni az előtt az időpont előtt, amelyre vonatkozik. Az előre-látás hatékonyságának

reális értékelésére tehát mindig csak post factum kerülhet sor. Schlick ezt erőteljesen hangsúlyozza. Véleménye szerint — helyesen — az előrelátás éppen abból áll, hogy olyan prognózisokat kapjunk, amelyeket a jövőbeli tapasztalatok igazolnak.

Schlick a meghatározásában azt a kifejezést használja, hogy előre „lehet” látni, illetve ki „lehet” számítani. Itt, mint könnyen kitalálhatjuk, az előrelátási folyamat realizálásának elvi lehetőségéről van szó, nem pedig e tevékenységnek magáról az elvégzéséről. Az utóbbi a tudós akaratától függ, aki, ha akar, előrelát. Könnyen tisztázhatjuk azt is, milyen értelemben használják ebben a definícióban a törvény fogalmát. Az a tény, hogy differenciális törvényről, valamint egy meghatározott állapot pontos előrelátásáról van szó, továbbá számos példa egyértelműen azt mutatja, hogy itt pontos törvényszerűségekről van szó, amelyeket nomenklaturánkban determinisztikus törvényszerűségnek nevezünk.

Kitérsképpen ismertetjük Schlicknek és a javasolt definíció más híveinek azt a nézetét, hogy ez a definíció a determináció viszonyának szimmetriáját implikálja annak alapján, hogy az elmúlt eseményekre is kiterjeszti az előrelátás fogalmát, továbbá feltételezi, hogy a determinisztikus törvények egyértelműek, mint általában vélik. Ténylegesen, ha egy későbbi S_2 állapot előrelátható a korábbi S_1 állapot, valamint az L törvény alapján, akkor az S_1 állapot is előrelátható az L törvény és az S_2 állapot alapján, vagyis a korábbi állapot előrelátható a későbbi állapot alapján. A definíció szerint tehát két egymást követő állapot közül a korábbi determinálja a későbbit, valamint a későbbi determinálja a korábbit. Szerintünk azonban Schlick itt átsiklik egy bizonyos különbségen, amely egyébként magából a definícióból következik, nevezetesen: ez a retrospektív előrelátás csak az S_2 állapot bekövetkezése után valósítható meg, hiszen az előrelátás feltételezi a kezdőállapot ismeretét, amely ebben az esetben S_2 . Lehet, hogy csak prognosztikai értelemben gondol az S_2 ismeretére. Ez a probléma azonban külön tárgyalást igényel, annál is inkább, mert a determináció szimmetriájának kérdését tudatosan kihagytuk elemzésünkéből.

A determináció fenti meghatározása óhatatlanul elvezet a determinizmus episztemológiai elvéhez. Ha ugyanis a mi fogalmazásunkban szereplő „determinálja” kifejezés helyére — Schlick szerint — prognosztikus egyenértékét tesszük, akkor a következő tételt kapjuk: „minden elszigetelt rendszer számára, ha pontosan ismerjük a rendszer meghatározott tetszőleges állapotát és a rendszer megfelelő determinisztikus törvényét, akkor pontosan előreláthatjuk ugyanezen rendszer későbbi állapotait”. Éppen ezt az állítást tekintik a determinizmus elvének. Ám rendszerint, ha a determináció szimmetriáját, tehát az állapotok retrospektív determináltságát feltételezik, nemcsak a „későbbi” állapotról beszélnek, hanem „minden” állapotról. Szimplifikált és a fenti extrapolációt figyelembe vevő alakban ez a tétel így hangzik: „ha pontosan ismerjük az elszigetelt rendszer adott állapotát és determinisztikus törvényét, akkor pontosan előreláthatjuk minden állapotát”. Ezt a megfogalmazást megtalálhatjuk Heisenbergnél, Schrödingernél, Bornnál, Bohrnál és más vezető fizikusoknál, akik kifejezetten utalnak rá, mint a determinizmus elvére, illetve mint a fizikai jelenségekre vonatkozó oksági elvre.

Ez az álláspont még Laplace-tól ered. Ő, aki a determinizmus elvét elsőként éppen prognosztikus módon fogalmazta meg azzal, hogy ezt az elvet holisztikusan kezelte, mivel az univerzumra vonatkoztatta, valamint mecha-

nisztikusan fogta fel, mivel az univerzum állapotváltozóinak mechanikus paramétereket vett fel, vagyis a világegyetem részeinek sebességét és helyzetét, determinisztikus törvényeken pedig a Newton-féle mechanikai mozgástörvényeket értette. Mindez abból következett, hogy Laplace a világot anyagi pontok rendszerének tekintette.

Véleményünk szerint a determinizmus elvének itt vázolt megfogalmazása téves, az elszigetelt rendszer állapotainak pontos előreláthatóságáról szóló tétel egyáltalában nem képviseli ezt az elvet. Ez nem annyit jelent, hogy tagadjuk e tétel igazságát és módszertani fontosságát; ez külön kérdés. A vitát a determináció prognosztikus meghatározásának bírálatával kezdjük; ezen alapul ugyanis a fent említett megfogalmazás.

Schlick, amikor megkonstruálja ezt a meghatározást, kifejezetten igyekszik elkerülni a rendszer állapotai közti tárgyi kapcsolatot és e kapcsolat jellegét illető vitát. Lehet, hogy ez az oksági összefüggés klasszikus fogalmának Hume-i kritikájából következő hatás eredménye. Bizonyos azonban, hogy ez annak a neopozitivistáknak az eredménye, amely bizonyos fogalmaknak formális, nyelvi síkon való definiálás által „ad értelmet”; ennek az a célja, hogy biztosítékot nyújtson a tárgyi beszédmódban rejlő metafizikai beütések ellen. Ezért Schlick ténylegesen nem beszél állapotokról, hanem csak az állapotokra vonatkozó mondatokról, nem beszél törvényszerűségekről, csak törvényekről, vagyis az őket leíró mondatokról. Így tehát nem beszél az állapotok közti kapcsolatról sem, hanem csak a meghatározott mondatok közti kapcsolatról. Itt segítségére sietnek azok a fizikusok, akiket nem annyira a determinációs viszonyoknak és a determinizmus elvének a tartalma érdekel, mint inkább a prognóziskészítésben megnyilvánuló módszertani aspektusa. Éppen ez teszi lehetővé Schlick számára, hogy mint pontos előreláthatóságot konkretizálja az állapotokról szóló mondatok közti kapcsolatot. Ettől már csak egy lépés az az állítás, hogy íme, sikerült megkapni a determinációs viszony formális, egyszersmind a fizikusok szándékainak megfelelő definícióját. Véleményünk szerint többé-kevésbé ez az eredete Schlick konstrukciós próbálkozásának.

Azok számára azonban, akik meg vannak győződve róla, hogy a determináció — bárhogyan is értjük — tárgyi viszony, Schlick meghatározása nem látszik helyesnek. Éspedig azért nem, mert ebben a meghatározásban az állapotok — s ezek az állapotok fizikai jelenségek — közti reális viszonyt az állapotokra vonatkozó mondatok közti logikai természetű viszonytal helyettesítik; e mondatok pedig nyelvi képződmények. Tudjuk ugyanis, hogy a pontos előreláthatóság azt jelenti, hogy a prognózistételek deduktív úton is levezethetők. Úgy gondoljuk, hogy a determinációs viszony helyes, tárgyilag megragadott definíciójának e viszonyt az állapotokat összekötő ugyanolyan jellegű viszonyhoz kell vezetnie. Nehéz ugyanis komolyan venni azt a nézetet, hogy a fizikai jelenségek közti kapcsolatnak logikai természetet kellene tulajdonítani. Maga Schlick egyébként tökéletesen tisztában van ezzel, s óvakodik levonni azt az adódó következtetést, hogy az ő meghatározása az állapotok közti „kauzális determináció” viszonyát a köztük levő logikai viszonyra redukálja. Ez a viszony ugyanis kizárólag mondatok között fordulhat elő. Fel kell vetnünk azonban a kérdést, miért állítja a szerző oly makacsul, hogy ő éppen az állapotok közti determinációs viszonyt definiálja. Ennek következtében úgy véljük, hogy Schlick meghatározása nem túlságosan szerencsés módon „ad értelmet” az állapotok determináltsága formális fogalmának.

A második ellenvetés sokkal súlyosabb. Könnyen megállapíthatjuk, hogy Schlicknek csak látszólag sikerült elszakadni a determináció tárgyi felfogásától. Definíciója ugyanis explicite feltételezi a determinisztikus törvény ismeretét, mint az előrelátás szükséges feltételét. Implikálja tehát a determinisztikus törvényszerűség létezését. Ez ellenvetésünk központja, egyszersmind a determináció prognosztikus és tárgyi meghatározása közti viszony helyes precizizálásának alapja. Az említett törvényszerűség létének feltételezése ugyanis magával hozza azt a lehetőséget, hogy a determinációs viszonyt az állapotok közti tárgyi kapcsolatként ragadjuk meg. Ez azonban a determinációs viszony általunk javasolt definíciója, nem pedig kauzális, illetve kvázikauzális értelmezésének alapján válik teljesen világossá. Ténylegesen, e definíció szerint a rendszer állapotait egyértelműen összekapcsoló determinisztikus törvényszerűség létezése egyértelmű azzal, hogy e rendszer két tetszőleges állapota között (tárgyi) determinációs viszony áll fenn. Valójában tehát Schlick nem képes kiküszöbölni a determináció tárgyi jellegét, amelyet definíciója impliciten magában foglal. Nem túlságosan pontos alakban hasonló ellenvetést fejt ki Marc-Vogau,²⁹ aki helyesen veszi észre, hogy a Schlick által feltételezett törvény, amely az előrelátás premisszája, valamiféle reális kapcsolatokat fejez ki, és pedig véleménye szerint oksági kapcsolatokat.

Ha ez az okfejtés helyes, akkor a determinációs viszony prognosztikus definíciója nyilvánvalóan logikusan implikálja e viszony tárgyi definícióját; más szóval és egyszerűbben: a determináció az állapotok pontos és hatékony előrelátásának szükséges feltétele. Ha ugyanis az ismert S_1 állapotból és az ismert L törvényből *pontosan előreláthatjuk* az S_2 állapotot, akkor nyilvánvalóan úgy kell lennie, hogy ha bekövetkezik az S_1 állapot, akkor az L törvénynek megfelelő L törvényszerűség szerint bekövetkezik S_2 , vagyis definíciónk szerint az S_1 állapot *determinálja* a prognózis tárgyát alkotó S_2 állapotot. Ebből az következik, hogy ha az S_1 állapot ténylegesen nem determinálná az S_2 állapotot, akkor léteznék az L törvényszerűség, s nyilvánvalóan nem láthatnánk előre az S_2 állapotot az S_1 állapot alapján, ha csak nem rendelkezünk látnoki képességekkel, mert ez esetben bizonyosan nem léteznék az L törvény; itt azonban az előrelátás fogalmát tudományos értelemben használjuk, mint a törvényen alapuló prognózis készítést.

A két meghatározás definensei között azonban nincs fordított logikai viszony: az állapotok közti determináció nem implikálja a pontos előrelátás lehetőségét. Az a tény ugyanis, hogy létezik determinisztikus törvényszerűség, vagyis a determináció áll fenn a rendszer állapotai között, az előrelátás lehetőségével és lehetetlenségével egyaránt konzisztens. Az első eset akkor fordul elő, ha pontosan ismerjük az S_1 állapotot és az L determinisztikus törvényt. Ezek az információs jellegű feltételek explicite szerepelnek Schlick meghatározásában. Ez a meghatározás tehát erősebb a determináció tárgyi definíciójánál, amely tudásunkat illetően nem tartalmaz semmilyen feltételt, mivel nem vonatkozik valamely megismerési eljárásra, mely feltételez ilyen tudást, hanem közvetlenül a valóságot érinti. A második eset viszont akkor fordul elő, ha nincs információnk az L törvényszerűségről vagy az S_1 állapotról; ekkor természetesen nem láthatjuk előre az S_2 állapotot, jóllehet létezik ilyen törvényszerűség, s ezért az S_1 állapot ténylegesen determinálja az S_2 állapotot. A determinisztikus törvényszerűség létezésének feltételezése ugyanis még nem implikálja e

²⁹ Marc-Vogau, K.: Zum Vortrag Schlicks. „Erkenntnis”, 6. köt. 1936. 344. o.

törvényszerűség ismeretét is, bár — az ismeretelméleti optimizmus szempontjából — azt a lehetőséget hozza magával, hogy megszerezzük ezt az ismeretet. Ez azonban nem elég az előrelátáshoz, amely a determinisztikus törvényszerűségnek, valamint a rendszer korábbi állapotának tényleges ismeretét feltételezi.

Az elemzéseredménye a következő. Schlick meghatározása csak látszólag kerül el a determinációs viszony tárgyi felfogását, ténylegesen azonban implikálja ezt, méghozzá definíciónk értelmében. Ugyanakkor túlságosan erős, illetve túlságosan szűk, mivel információs feltételeket tartalmaz, melyek bár szükségesek az előrelátáshoz, de egyáltalán nem szükségszerűek a determinációs viszony tárgyi tartalmának felismeréséhez; ez a viszony fennállhat a fenti feltételek teljesítése nélkül és az előrelátás alkalmazásának lehetősége nélkül is. Ez a viszony reális függés, az előrelátás pedig megismerési eljárás. Nem csodálkozhatunk tehát, hogy sok metodológus, a többi között Sztajnbarg,³⁰ Wiegner³¹ és mások a szubjektivizmus vagy éppen az idealizmus vádját hozzák fel Schlickkel szemben azon az alapon, hogy a reális viszonyt az előrelátási tevékenység elvégzésének lehetőségére próbálja redukálni.

Mindezek az ellenvetések együttesen arra készítetnek bennünket, hogy Schlick meghatározását ne fogadjuk el a determinációs viszony definíciójának. Tekintettel azonban arra, hogy ez a meghatározás logikai kapcsolatban áll a determináció helyes, azaz tárgyi definíciójával, ezért úgy kell kezelnünk, mint a *determinációs viszony* előfordulásának *empirikus kritériumát*. Ha ugyanis az S_1 állapotból és az L törvényből pontosan előreláthatjuk az S_2 állapotot, akkor az S_1 állapot ténylegesen determinálja az S_2 állapotot. Gyakran hangsúlyozzák, hogy a hatékony prognózis készítése ily módon a próbák szerepet játssza a determináció és az oksági összefüggés vonatkozásában, de ugyanakkor óvnak attól, hogy ezt a kritériumot azonosítsák a jelenségek valóságos kapcsolatával, amelynek megállapítására szolgál. Így veti fel a kérdést teljesen világosan Planck,³² aki a problémának hosszabb gondolatmenetet szentel. Schlick meghatározása éppen ilyen jogosulatlan, nyilvánvalóan hibás módon azonosítja a determináció kritériumát magával a determinációval.

A fenti alapon elvetjük a determinizmus elvének episztemológiai koncepcióját, amely szerint ez az elv a rendszer állapotainak előreláthatóságára vonatkozik azon az alapon, hogy ismeri a rendszer adott állapotát és a megfelelő determinisztikus törvényt. Elfogadjuk viszont ennek az elvnek ontológiai értelmezését, mert úgy véljük, hogy a determinációs viszony nemcsak reális, tárgyi kapcsolat, hanem — mint ilyent — helyesen és a szándéknak megfelelően definiálhatjuk, anélkül hogy megismerési eljárásokra, különösen a prognóziskészítésre hivatkoznánk. Lényegileg ennek az álláspontnak alapja az a meggyőződés, hogy a determinizmus elve a valóság struktúrájának meghatározott aspektusára, pontosabban az állapotoknak az elszigetelt rendszerben végbemenő egyértelmű lefolyására vonatkozik; ezek a folyamatok az embertől, tudástól és az előrelátás lehetőségétől függetlenül léteznek. Másrésztől azért, mert éppen ilyen és nem más a valóság struktúrája, lehetséges a

³⁰ Sztajnbarg, D.: Zagadnienie indeterminizmu na terenie fizyki wspótczesnej. P. F. XXXV. (1932) 64—65. o.

³¹ Wiegner, A.: Uwagi nad indeterminizmem w fizyce. Poznan, 1932. 15. o.

³² Planck, M.: Az okság fogalma a fizikában. A modern tudomány problémái. Varsó, 1933. 28—30. o. (lengyelül).

pontos emberi előrelátás, amely kifejezetten feltételezi az állapotok fent említett lefolyásain uralkodó törvényszerűségeket. Véleményünk szerint ez az egyetlen helyes, materialista nézőpont.

Ezt az álláspontot egyébként nemcsak a materialisták osztják, hanem a realiztikus beállítottságú fizikusok és metodológusok is erre az álláspontra helyezkednek; közülük tartozik elsősorban Margenau, aki igen élesen vitatkozik a determinizmus elvének prognosztikus megfogalmazásával, melyet kifejezetten a pozitivistikus gondolkodásmód eredményének tart. Ennek a filozófiai vonatkozásnak kiemelése tökéletesen helyes. Jelenleg az említett elv episztemológiai felfogását főképpen a neopozitivisták képviselik. Elég, ha olyan neveket említünk, mint Schlick, Reichenbach, Popper és mások. E koncepciónak a fizikusok körében való elterjedését nagymértékben magyarázhatjuk a neopozitívizmus erős hatásával.

Az episztemológiai álláspont bírálata természetesen nem irányul a rendszer állapotainak pontos előreláthatóságát hirdető tézisellen, hanem pusztán a tézisnek a determinizmus elvével való azonosítása ellen. Ezt a tézist a fenti elvtől különálló, megismerési jellegű feltételezésnek kell tekintenünk, amelyet a tudományos gyakorlatban betöltött szerepével kapcsolatosan — tartalmának megfelelően — a pontos *előreláthatóság*, illetve a pontos *prognózisok elvének* nevezhetünk. Ez az elv természetesen csak az elszigetelt rendszerek állapotainak előrelátására korlátozódik, vagyis mintegy kizárólag a fizikai determinizmus elvének céljaira preparált.

Mint megállapítottuk, a pontos előrelátás lehetősége implikálja a determináció fennállását, s ezért meg kell állapítanunk, hogy a pontos prognózisok elve maga után vonja a determinizmus elvét, és ezért az utóbbinak elégséges feltétele, illetve kritériuma. Természetesen nem szükséges feltétele a determinizmus elvének, s ez abból következik, hogy a determináció fennállása nem implikálja a pontos előreláthatóságot, mivel ennek teljesüléséhez az információ-feltételek realizálódása szükséges. A pontos prognózisok előfeltételezése tehát kizárólag empirikus kritérium, illetve a determinizmus elvének episztemológiai vagy módszertani társa. Ez megmagyarázza miért összpontosítják figyelmüket a fizikusok elsősorban erre az előfeltételezésre, s bizonyos fókig megmagyarázza azt a jelenséget is, miért fogják fel a determinizmus elvét prognosztikus értelemben.

Többé-kevésbé így fest a két elv tényleges viszonya. Úgy véljük még szükség van a pontos prognózisok előfeltételezése és a determinizmus elvének verifikálhatósága, pontosabban, alátámaszthatósága közti összefüggésre vonatkozó további kutatásokra. Ez mind azzal kapcsolatos, hogy a fenti feltételnek empirikus kritérium jelleget tulajdonítunk, mind pedig azzal a feltételezéssel, hogy ez az előfeltételezés a valóságban a determinizmus elvének állandó és pontos igazolásáról szóló tétel. Ezzel a feltételezéssel most nem foglalkozunk, s tovább vitatandó kérdésnek tekintjük.

Befejezésül még egy lényegbevágó problémával foglalkozunk. Mint az előző pontban megállapítottuk, a méréseredmények megközelítő jellege következtében a rendszer kezdeti állapotát gyakorlatilag nem ismerhetjük pontosan. Ezért a kezdeti állapotra vonatkozó információ-feltétel, amely a pontos prognózisok elvében szerepel, gyakorlatilag csak megközelítő módon teljesülhet. Ha viszont ez a helyzet; akkor a kezdeti állapotra vonatkozó információban mutatkozó szórás átvivődik az előrelátható állapotok prognózisaira, s ennek következtében ezeknek az állapotoknak az előrelátása sem lehet gyakorlatilag

pontos. Vajon nem kell-e ezért a szóban forgó elvet legalábbis üresen-teljesítettnek, ha ugyan nem hamisnak tekintenünk?

Egyes szerzők ennek a nehézségnek hatására liberalizálják, illetve „empirizálják” a pontos előreláthatóság elvét, s a következő tétellel helyettesítik: „Ha bizonyos megközelítéssel ismerjük a kezdeti állapotot (és a törvényt), akkor ugyanilyen megközelítéssel előreláthatunk minden állapotot.” Ilyen megfogalmazást találunk pl. Poincarénál.³³ Más szerzők viszont, köztük a fizikusok többsége, nem mondanak le ennek az elvnek eredeti alakjáról, ugyanis ürességét, illetve hamisságát csak a kvantummechanika eredményeivel kötik össze, nem pedig a klasszikus fizika szintjén végzett mérések jellegével. Mi is ehhez az állásponthoz csatlakozunk, ugyanabból az okból, amely a determinizmus elvével kapcsolatosan az elv nem-ürességének feltételeit illetően vezetett bennünket. Mint könnyen kimutathatjuk — s rendszerint ezt is hangsúlyozzák — a pontos prognózisok elvének alapja az a feltételezés, hogy a mérési információban elméletileg lehetséges a szóráshatár nullára csökkentése. Ez a feltételezés specifikus — és pedig határeset — értelemben véve biztosítja az ezen elv információ-feltételének teljesítését a rendszer kezdeti állapotára vonatkozóan. Ezért az a véleményünk, hogy ezt az elvet határ jellegű tézisnek kell tekintenünk, egyébként analóg módon a determinizmus elvéhez, tekintettel arra, hogy nem-ürességének feltételei határ jelleggel realizálódnak. Éppen ebben az értelemben fogják fel és fogalmazzák meg általában, s mint ilyet kezelik a determinizmus elvének elégséges feltételeként. Ez azonban, mint látjuk, eszmei kritérium, s ezért nem hatékony. A gyakorlatilag hatékony kritérium a rendszer állapotainak megközelítő, illetve a pontoshoz közelítő előreláthatósága. Ez a kritérium azonban pontatlan és megközelítő. Ám nem is lehet más, hiszen a determinizmus elve csak megközelítőleg igazolható, a reális prognózisokban mindig van mérési szórás, bár a méréstechnika fejlődésével ez csökken.

Ezek után fordítsunk figyelmet arra a problémára, hogy mennyiben igaz, illetve érvényes a determinizmus itt vizsgált elve abban az aspektusban, amely szorosan kapcsolódik ennek az elvnek a tartalmához. Ugyanis csak ez az utóbbi kérdés a tárgya tanulmányunknak.

Ha a klasszikus fizika által vizsgált makrorendszerek területéről van szó, akkor senki sem kételkedik komolyan a determinizmus elvének igazságában. Viszont ebben a kérdésben lényeges ellenvetések merülnek fel a kvantummechanika által vizsgált mikrorendszereket illetően. Ezért a determinizmus elvének érvényességéről folytatott vita kizárólag vagy legalábbis elsősorban a mikrovilág említett elmélete alapján folyik.

Nos, mint a mai vizsgálatok mutatják, az itt tárgyalt és az említett keretek korlátozta probléma lényegbevágóan érinti a determinizmus elvének értelmét. Ez a kapcsolat — melyet régebben gyakran figyelmen kívül hagytak — abban a fontos körülményben jut kifejezésre, hogy a kvantummechanika a rendszer állapotának a klasszikus fizikáétól eltérő fogalmával dolgozik. Megkísérljük ezt közelebbről megmagyarázni. A klasszikus fizikában a makrorendszer pillanatnyi állapota mindig a rendszer bizonyos kiemelt változóinak, az állapotváltozóknak meghatározott értékeit fejezi ki. A kvantum-fizikában viszont — mint az általában ismeretes — a mikrorendszer pillanatnyi állapotát a ψ hullámfüggvény képviseli, illetve jellemzi, amelynek amplitúdó-négyzete,

³³ Poincaré, H.: Tudomány és módszer. Varsó, 1911. 47—48. o. (lengyelül).

vagyis ψ nyilvánvalóan *valószínűségi* jellegű. Pontosabban szólva: a ψ függvény képviseli az adott pillanatban a rendszer bizonyos változói (a helyzet és a sebesség) értékei együttesének együttesét, s mindegyik érték realizálódásának meghatározott valószínűségével van összekapcsolva (konjugálva). Éppen ez a mikrorendszer állapotainak felfogásában megmutatkozó sajátosság a makroszkopikus rendszer állapotának klasszikus jellemzéséhez képest.

A determinizmus elvét hagyományosan úgy értjük, mint olyan tézist, amely a fent leírt klasszikus értelemben vett rendszer-állapotokra vonatkozik. Ez kifejezésre jutott az állapot fogalmára vonatkozó fejtegetéseinkben a jelen tanulmány első részében. Ez természetes is, hiszen a determinizmus elve a kvantumfizika előtti, makroszkopikus fizika alapján fejlődött ki és fogalmazódott meg; s ez a fizika ily módon a rendszer állapotának pontos, nem-valószínűségi fogalmával operál. Ebből a szempontból a determinizmus itt vizsgált elvét *klasszikusnak* kell neveznünk.

Mármost, s ezt könnyen kimutathatjuk, a determinizmus klasszikus elve kifejezetten alkalmazhatatlan a mikrorendszerekre. A mikrorendszerek állapotai ugyanis — legalábbis a kvantummechanika szempontjából — a ψ függvénnyel, tehát valószínűségiileg jellemezhetők. Ebből az következik, hogy az a kérdés, vajon a determinizmus klasszikus elve igaz-e vagy hamis, a kvantumrendszerek körében nem dönthető el, vagy rosszul feltett kérdés, természetesen a kvantummechanika keretei között. Csak abban az esetben állna másképpen a helyzet, ha ez az elmélet az állapot klasszikus jellemzésével dolgoznék. Akkor az említett elv igazságára vonatkozó kérdés értelmes és eldönthető lenne. A helyzet azonban nem ez. Ezért az a véleményünk, hogy azokat az indeterminisztikus álláspontokat, amelyek a determinizmus elvének klasszikus, egyszersmind ontológiai megfogalmazásával kapcsolatosak, félreértésnek kell tekintenünk, habár nem banális állásfoglalásoknak.

A fentiekhez hasonló, csak talán kevésbé szélsőséges fejtegetések egyengették az utat a determinizmus elveinek egy bizonyos, eléggé természetesen adódó általánosítása számára, amely a determinizmus elvének a kvantummechanikára való alkalmazására törekedett. Ez a koncepció tulajdonképpen még Plancktól³⁴ ered, s jelenleg olyan szerzők fejtegetik, mint Nagel,³⁵ Margenau,³⁶ Northrop³⁷ és sokan mások, köztük sok fizikus is.

Ez a próbálkozás igen egyszerű eljárásból áll: az állapot fogalmának szűk, klasszikus körét kiterjesztik oly módon, hogy belevonják a mikrorendszer valószínűségiileg értelmezett állapotát. Így a determinizmusnak új, *általánosított* elvét kapják, amely már nem specifikálja — mint a klasszikus — az állapot karakterisztikumának sajátosságát.

Nyilvánvaló, hogy ez az elv már vonatkozik a mikrorendszerekre. Ezzel kapcsolatosan az a kérdés, hogy érvényes-e ebben a körben, a kvantummechanika keretében teljesen megoldható problémává válik. Az említett szerzők ezenkívül rámutatnak arra, hogy a kérdés eldöntése pozitív, vagyis az általánosított elv megtartja érvényességét a mikrovilágban. Valóban, Schrödinger időbeli differenciálegyenlete, amely a kvantummechanika alaptörvénye, a rendszer

³⁴ Planck, M.: Id. mű (3) 40. o.

³⁵ Nagel, E.: Id. mű (8/a) 426—427., 433—435. o.

³⁶ Margenau, H.: Id. mű (6/b) 414—428. o.

³⁷ Northrop, F. S. C.: The Logic of the Sciences and the Humanities. New York, 1960. 200—220. o.

számára, amelynek fejlődését nem zavarja a mérés, leírja a ψ_n függvény bármely későbbi értékének egyértelmű függését a t időtől, valamint a függvény kezdő ψ_0 értékétől. Ez az egyenlet tükrözi tehát a kvantumrendszer állapotai közti determinációs viszonyt, amely állapotokat a ψ függvény, mint állapot-változó, valószínűségeileg jellemez. A Schrödinger-egyenlet e determinisztikus jellege következtében, ha pontosan ismerjük a mikrorendszer ψ_0 állapotát, akkor a fenti egyenlet alapján pontosan előreláthatjuk a rendszer tetszőleges későbbi ψ_n állapotát.

Így — mint Nagel, Margenau és mások hangsúlyozzák — „megmentették” a mikrovilágban érvényesülő determinizmust. Azzal a fenntartással élnek azonban, hogy itt a nem-klasszikus értelemben vett determinizmusról van szó, ugyanis a mikrorendszer állapota valószínűségeileg meghatározott.

Ez a végeredményben optimista álláspont azonban meglehetősen egyedülálló. Mindenekelőtt azok nem értenek egyet vele, akik a determinizmus-elv értelmének megsértését, illetve felborítását látják benne. Ezek ugyanis azt gondolják, hogy a determinizmus elvének tényleges jelentése a hagyományos felfogásában van, amely szoros kapcsolatban áll a rendszer állapotának klasszikus fogalmával. Ebből a szempontból a determinizmus elvének „megmentése” a mikrorendszerek körében, a fenti általánosítás alapján mesterségesnek, erőszakoltnak látszik.

A klasszikus elv azonban nem alkalmazható a kvantummechanika keretében vizsgált mikrorendszerekre. Ha tehát elvetjük az elv „deklasszicizálásának” kísérletét, akkor alkalmazásának lehetőségére és az említett rendszerek vonatkozásában érvényes igazsága kérdésének eldöntésére az egyetlen reményünk, ha *túllépünk* a kvantummechanika *határain*; más szóval: olyan mikroelméletet kell konstruálnunk, amely a kvantumrendszer állapotának klasszikus jellemzésével dolgozzék. Ha ez determinisztikus elmélet lenne, akkor a determinizmus elvét igaznak kellene tartanunk; ha viszont a klasszikus értelemben statisztikusnak bizonyulna, dinamikus alap nélkül, vagyis, ha szerinte a rendszer állapota a rendszer későbbi lehetséges állapotai számára csak a statisztikus elosztást adná meg — akkor a determinizmus elvét a mikrovilágban hamisnak kellene tekintenünk.

Egyes fizikusok, például Bohm, de Broglie és mások, amellet vannak, hogy a mikrofizikát vissza kell fordítani a klasszikus determinizmushoz. Sőt konkrét kísérleteket tesznek ilyen klasszikus és ugyanakkor determinisztikus elmélet megfogalmazására. Nincsenek ugyanis meggyőzve a kvantummechanika teljességéről, vagyis arról, hogy a mikrorendszer állapota nem jellemezhető pontosan, hanem csak valószínűségeileg. Ezért az említett próbálkozások abból állnak, hogy az állapot jellemzésébe új, az állapotot már pontosan meghatározó paramétereket vezessenek be.

A fizikusok nagy többsége azonban igen szkeptikusan nézi ezeket a konkrét javaslatokat. Éspedig nemcsak azért, mert eddig semmilyen siker sem koronázta őket, hanem mindenekelőtt azért, mert a fizikusok szilárdan arra az álláspontra helyezkednek, hogy a kvantummechanika teljes, vagyis az állapot más, nem-valószínűségi jellemzése a mikroobjektumok sajátos természete miatt ki van zárva. Nyilvánvaló, hogy ezt a vitát teljes egészében csak a fizika jövőbeli fejlődése döntheti el. S ha ezt figyelembe vesszük, meg kell állapítanunk, hogy a determinizmus klasszikus elvének a mikrovilágra való alkalmazása lényegileg nyitott kérdés, s a jövőben fog eldőlni. Annál is inkább nyílt probléma — ennek következtében — a determinizmus-elv igazságának vagy hamisságának

eldöntése a mikrovilág területén. Nincs azonban kizárva, hogy a fizika fejlődése határozottan olyan téziszhez vezet, hogy a klasszikus elv lényegéből kifolyóan, nem vonatkozhat a mikrovilág jelenségeire, mert az állapotnak olyan fogalmát használja, amely nem vihető át erre a területre. Akkor vagy véglegesen le kell mondani arról a megfontolásról, hogy a determinizmus klasszikus elve igaz a mikrovilágban, vagy pedig — ugyancsak véglegesen — el kell vetni a determinizmus elvének klasszikus értelmezését, ha azt akarjuk, hogy ezek a fejtegetések ne veszítsék el értelmüket és jellegüket.

ФИЗИЧЕСКИЙ ДЕТЕРМИНИЗМ

3. Аугустынек

Целью работы является попытка дать отчет в содержании принципа физического детерминизма в той его формулировке, которая говорит, что для всякой изолированной физической системы любое определенное ее состояние детерминирует все последующие состояния этой системы.

Первая часть работы посвящена выработке возможно точных и правильных определений понятий, посредством которых выражается этот принцип. Изолированная физическая система определяется, как такая система, которая не взаимодействует со своей пространственной средой. Состояния системы определяется, как временные сечения ансамбля переменных величин состояний этой системы, то есть таких переменных величин, которые взаимно друг от друга не зависят и которые сообща определяют — дефиниционно или номологически — остальные переменные величины системы. Предлагается следующее определение отношения детерминирования: «Состояние S_1 , детерминирует во времени t_1 , состояние S_2 » значит, что «Если реализуется состояние S_1 , то по истечении времени t_1 , реализуется, согласно соответствующей закономерности, состояние S_2 ». Закономерность понимается здесь, как такая общая действительная зависимость, которая однозначно связывает все состояния системы. Такая закономерность называется детерминистской. Автор полемизирует с мнением согласно которому отношение детерминирования представляет особую причинную связь. Однако он показывает, что это отношение имеет каузальное основание.

Во второй части работы рассматриваются: условия того, чтобы принцип детерминизма не был эмпирически пустым, его отношение к принципу Максвелла и к предположению точной предвидимости. Рассматриваемый принцип предполагает существование изолированных систем, а также повторяемость их состояний. Предполагает в том смысле, что существование изолированных систем и повторяемость их состояний являются условиями того, чтобы принцип детерминизма не был эмпирически пустым. Только в случае реализации этих условий он становится эмпирическим высказыванием, подлежащим проверке. Доказывается, что из принципа детерминизма вытекает принцип Максвелла, согласно которому все детерминистские закономерности имеют пространственно-временно универсальный характер. Автор полемизирует со взглядом, согласно которому принцип детерминизма можно удерживать и в случае, если бы пришлось отбросить принцип Максвелла, а также с мнением, что оба эти принципа эквивалентны. На основании критики эпистемологического определения отношения детерминирования (ведущего к отождествлению принципа детерминизма с принципом предвидимости) показывается, что из предположения точной предвидимости — согласно которому, если известно точно определенное состояние системы и детерминистский закон, то возможно точно предвидеть все следующие за ним состояния этой системы — действительно следует принцип детерминизма, но что определение этому принципу детерминизма не эквивалентно, а тем более, не равнозначно ему. В заключение разбирается вопрос о применимости принципа детерминизма к микросистемам и показывается, что этот принцип, пользующийся классической характеристикой состояния системы, не может относиться к состояниям в смысле квантовой механики, ибо состояние микросистемы определяется — в ее рамках — вероятностным образом. Итак, следует либо обобщить принцип детерминизма посредством обобщения определения состояния, либо питать надежду, что он окажется применимым — в классической форме — к микросистемам, если выйти за рамки квантовой механики.

The study examines the content of the principle of physical determinism which is formulated as follows: for every isolated physical system any given state of system determines all the later occurring states of this system.

The first part of the study is devoted to the formulation of the definitions (as precise and adequate as possible) of the concepts that are needed to express the above principle. A physical isolated system is defined as a system which does not interact with its spatial environment. A state of a system is defined as temporal section of the set of its state's variables, *i.e.* those variable that are mutually independent and together serve to define, by means of a definition or nomologically — the remaining variables of the system. The following definition of the relation of determination is proposed: "State S_1 determines state S_2 in time t_1 ," means: "If state S_1 occurs, state S_2 occurs in time t_1 according to the respective law." By "law" we mean the general real dependence which binds up uniquely all the states of the system and hence is called deterministic. The author sets forth arguments against the view which holds that the relation of determination represents a specific causal relation, though he states at the same time that this relation must have a causal foundation.

In the second part of his study the author examines the conditions of non-emptiness of the principle of determinism, the relation of this principle to that of Maxwell and to the assumption of strict predictability. This principle presupposes the existence of isolated systems and the occurrence of reproduction of the states of these systems. It presupposes them in the sense that the existence of isolated systems and their reproduction are the conditions of empirical non-emptiness of the principle of determinism; if those conditions are satisfied, the principle in question becomes an empirical, verifiable proposition. It can be proved that the principle of determinism implies that of Maxwell which states that all deterministic laws are universal in space-time. The author argues against the view that the principle of determinism can be maintained when Maxwell's principle is rejected; in the same time he also asserts the non-equivalence of the two principles. The author criticizes the epistemological definition of the relation of determination — leading to the identification of the principle of determinism with the principle of predictability — and demonstrates that the assumption of strict predictability (which says that if we have a well-defined state of a system and a corresponding deterministic law, then it is possible to predict every state of the same system later than the given one), implies the principle of determinism, though it is not its equivalent, neither is it synonymous with it. In the final part, the question of the application of the principle of determinism is examined with reference to micro-systems. It is shown that this principle, resorting to the classical characteristic of the state of a system, cannot concern the states in the sense of quantum mechanics. It is then necessary either to make this principle more general by generalizing the definition of a state, or to cherish the hope that it might be made applicable, in its classical form, to micro-systems when quantum mechanics itself is in some sense overcome.