

# D. P. GORSZKIJ TANULMÁNYA A FIZIKÁBAN HASZNÁLT MEGHATÁROZÁSOKRÓL

SOLT KORNÉL

A definíciók problémája egyike az ismeretelmélet, a logika és a szemantika sokat vitatott kérdéseinek. E témakör irodalma — *D. P. Gorszkij* tollából — értékes új tanulmánnyal bővült.<sup>1</sup> A tanulmány hat részből áll. Ezek: *I. A meghatározásokról általában. II. A fizikában használt meghatározások különböző fajtái. III. Bridgman operacionális meghatározásai. IV. A konstitutív meghatározások a fizikában. V. A mennyiségi szintetizáló meghatározások. VI. Az operacionális meghatározások státusa.* — Az alábbiakban igyekszem *Gorszkij* főbb megállapításait bemutatni.<sup>2</sup>

## I. A MEGHATÁROZÁSOKRÓL ÁLTALÁBAN

A legkülönbözőbb eljárásokat értik meghatározáson, így — többek között — a példázó, a terminológiai és a definiáló meghatározást. Az utóbbi a „teljes értékű meghatározás”: a definíció. Az utóbbival szemben logikai és matematikai követelményeket támasztanak. Logikai követelmény pl. az, hogy a definiendum (*Dm*) és a definiens (*Ds*) extenziója legyen egyenlő. Ami a matematikai követelményeket illeti, abból kell kiindulni, hogy a definíció célja az adott elmélet bővítése új fogalmakkal. Bizonyos alapfogalmakat axiómák útján kell meghatározni, majd e meghatározások segítségével további fogalmakat lehet definiálni.<sup>3</sup> Ezek a definíciók: helyettesítési szabályok.

Meghatározáson mindazokat az eljárásokat érti, amelyek terminusok jelentésének a megállapítását, pontosabbá tételét teszik lehetővé. Szerinte a meghatározás szükséges és elégséges követelményei ezek: *a) A Dm és a Ds extenziójának egyezése (eliminálhatóság), b) a Dm és a Ds viszonyának egyértelműsége és c) a circulus vitiosus hiánya.* (171.) — Ugyanazt a terminust különböző módokon is meg lehet határozni.

## II. A FIZIKÁBAN HASZNÁLT MEGHATÁROZÁSOK

A fizikában bonyolultabb a meghatározások kérdése, mint a matematikában. Ennek több oka van. Így a matematika nyelvének csak két szintje van: a tárgynyelv (amelyen az elmélet kijelentéseit írják le) és a metanyelv (amelyen a

<sup>1</sup> Д. П. Горский: Проблемы определений в теориях математического естествознания (на примере физических теорий). In: Логика и эмпирическое познание. Редактор: П. В. Таванец. Издательство «Наука». Москва, 1972, 169—197.

<sup>2</sup> A szövegben zárójelben írt számok Gorszkij tanulmányának oldalszámaira utalnak.

<sup>3</sup> Pl. Lukaszewicz logikai kalkulusában axiómákkal definiálja az implikációt és a negációt, majd az utóbbiak segítségével a konjunkciót, diszjunkciót, ekvivalenciát.

tárgnyelvet írják le). A fizika nyelvének viszont több szintje van. Így a közvetlen tapasztalatnak a megfigyelés nyelve felel meg („protokoll-sík”). A fizikus a közvetlen tapasztalat tényeit elemezve ún. „absztrakt objektumokhoz” jut, amilyen pl. a *hosszúság*, a *térfogat* stb. Ekkor a „megfigyelt konstruktumok nyelvét” alkalmazzák. Az absztrakt objektumok mennyiségi elemzése szükségessé teszi a nyelv kiegészítését logikai-matematikai terminusokkal. Az eddig említett nyelveket gyakran „az empirikus szint nyelvének” nevezik. Erre van szükség a fizika *empirikus* törvényeinek a leírásához. (172–173.) Ezután megkezdődik a *fizikai elmélet* kidolgozása. Ennek során olyan új fogalmakat kell megalkotni, mint pl. a „tehetetlenség”, az „ideális gáz”, az „anyagipont”, az „abszolút szilárd test”, az „atom” stb. Ezek a fogalmak a fizika nyelvének egyszerűsítését teszik lehetővé. Ezeknek heurisztikus, didaktikai jelentőségük van. A fizika így létrejött nyelvét *Gorszkij* a „teoretikus szint nyelvének” nevezi. (173.)

A fizikai kutatás és a megfelelő fizikai nyelv különböző szintjein más-más szintű meghatározások lépnek fel. E tekintetben *Gorszkij* — *P. Caws* nyomán<sup>4</sup> a következőkre mutat rá: a) A fizikai kutatás *első* szintjén *osztentív* és *példálózó* meghatározásokat is felhasználnak. (Pl. Kérdés: „Mi a Zeeman-effektus?” Válasz: „Tekintsen rá a spektrométernek erre a sárga vonalára, majd figyelje meg, mi történik, amikor az elektromágnezt bekapcsolom. Ez a Zeeman-effektus.”) b) A *második* szinten a *deskriptív* és a *konnotatív*, főként pedig a *nem-* és a *fajfogalmon* alapuló, valamint az *absztrakció* útján történő és az *operacionális* meghatározásokat alkalmazzák. c) A *harmadik* szinten kidolgozzák a rendszer logikai-matematikai apparátusát. Ilyenkor széles körben alkalmaznak *nominalis* meghatározásokat (új jelek bevezetését hosszabb jelsorok rövidítésére). d) A *negyedik* szinten történik a (materialista) logikai kalkulus kidolgozása, mely a vizsgált objektumokról szóló ismereteinket egységes rendszerbe foglalja, amelynek keretei között az elmélet alapfeltevéseiből deduktív logikai konklúzióként adódhatnak egyes empirikusan megismert viszonyok. e) Az *ötödik* szinten (áttérés az empirikus szintről az elméletire) már meg nem figyelhető objektumokkal (pl. modellobjektumokkal) van dolgunk. Ezeket *norminalis-semantikai* meghatározásokkal definiálják. f) A *hatodik* szinten *konstitutív* meghatározásokat alkalmaznak az elméletalkotás céljára.

A mai kvantumfizikában különösen bonyolult a meghatározások problémája, mert az elmélet meg nem figyelhető objektumok létezését tételezi fel a mikrovilágban, mert a megfigyelést mindig eszközök közvetítik, mert a mikrovilág objektumai nem rendelkeznek a makrovilág objektumainak állandóságával.

A fentiek folytán a meghatározások a fizikában alapvetően különböznek a matematikai meghatározásoktól. A matematikában a meghatározások alapján megengedett a *Dm* helyettesítése a *Ds*-el. (Minthogy:  $Dm = Ds$ .) A fizikában többről van szó. Így nemcsak arról, hogy bonyolult fogalmakat meghatározás segítségével egyszerűbbekre redukálunk, hanem arról is, hogy a meghatározás tárgyát mérnünk kell, a méréssel valami kérdéses fogalmat visszavezetjük valamely megfigyelt objektum — *számmal* kifejezhető — sajátosságaira. (177.) „Ha a fizikus — írja *Gorszkij* — nem operálna olyan meghatározásokkal, amelyek biztosítják az elmélet és a tapasztalat szilárd kapcsolatát, akkor az elmélet — fejlődésének bizonyos szakaszán — azt kockáztatná, hogy... a metafizikai spekulációk útjára lép.” (177.) Ezért új fizikai mennyiségek meghatározásait úgy

<sup>4</sup> P. Caws: The Function of Definition in Science; „Philosophy of Science”, 1959/VII.

kell felépíteni, hogy a jelenség mérésének eredményei egyezzenek a számítások eredményeivel. — Gorszkij a továbbiakban kizárólag a *mérések és a számítások* eredményein alapuló fizikai meghatározásokkal foglalkozik.

### III. BRIDGMAN KONCEPCIÓJA AZ OPERACIONÁLIS MEGHATÁROZÁSOKRÓL

A természettudományok logikájába *Bridgman* vezette be az *operacionális meghatározások* fogalmát.<sup>5</sup> A meghatározásoknak ezt a típusát a *hosszúság* fogalmán mutatta be. Egy tárgy hosszúságát különböző mérési eljárásokkal állapítjuk meg. Más-más mérési eljárást igényel egy mozdulatlan merev test vagy egy mozgó test hosszának a mérése. A mérési eljárás rendkívül bonyolódik, ha nagy sebességgel mozgó tárgy hosszát kell megmérnünk. Ennek a bonyolult feladatnak a megoldását egyszerűbbre — a nyugvó test hosszának a mérésére — igyekszünk visszavezetni. (Ezt az utat követte *Einstein* is. Ő azonban megállapította, hogy a tárgy hosszúsága sebességének a függvénye.) — Ismét más mérési eljárást alkalmazunk pl. nagy földterületek hosszának mérésénél: ún. optikai eljárást (merev mérőrúd vagy mérőszalag helyett) teodolittal és számításokkal. Az optikai mérés eredményei egyeznek a mérőrúddal történő mérés eredményeivel. Ezért földi feltételek között nem kell más nevet adnunk az optikai eszközökkel mért hosszúságnak, mint a mérőszalaggal mért hosszúságnak. Ha azonban optikai úton kozmikus távolságokat mérünk, a helyzet alapvetően megváltozik: ekkor a hosszúság *optikai jellegűvé* válik. (Kétséges, hogy az kielégítő módon leírható-e *Eukleidész* geometriájával.) Ezért — hangsúlyozza *Bridgman* — ilyen kijelentések: „két égitest távolsága 5 fényév” és „1 m 70 cm magas vagyok” — a hosszúság eltérő fogalmain alapulnak. — A mikrovilágban a helyzet ismét megváltozik. Milyen értelmet tulajdoníthatunk pl. annak, hogy az elektron átmérője  $10^{-13}$  cm? A hosszúság ekkor olyan számmá változik, amelyet elektrodinamikai egyenletekből nyerünk, behelyettesítve azokba bizonyos kísérleti úton nyert adatokat.

*Bridgman* — a hosszúság, az idő, a tömeg, az erő stb. fogalmának elemzése alapján — végeredményben a *fizikai mennyiségek azon meghatározásait érti operacionális meghatározásokon, amelyek az előbbiekre vonatkozó specifikus kísérleti-mérési operációkat írják le*.<sup>6</sup> Ezek a meghatározások tehát nem kapcsolatosak gondolati (számítási) operációkkal. (Az utóbbiak az ún. „papír-ceruza operációk”.)

A fizikában döntő jelentősége van a tapasztalatnak, a kísérletnek. *Bridgman* nem fogad el a priori elveket. Természetesnek tartja azt az igényt, hogy cseréljük fel a fogalmak *tulajdonságait leíró* meghatározásokat operacionális meghatározásokkal. Arra a — *Gorszkij* szerint „túlságosan erős” — következtetésre jut, hogy *egy fogalom nem értünk többet, mint operációk összességét; a „fogalom” és az „operációk összessége”: egymás szinonimái*. Ebből kiindulva lehet kiküszöbölni a fizikából bizonyos értelmetlenségeket, mint amilyen pl. az „abszolút

<sup>5</sup> „The Logic of Modern Physics”, New York 1954.

<sup>6</sup> *Bridgmannek* a meghatározásokra vonatkozó fenti koncepciója azon a filozófiai-metodológiai alapon nyugszik, amelyet ő operacionalizmusnak nevez és amely a neopozitivistá filozófia egyik változata. *Bridgman* beállítottasága azonban pragmatikus és ebben eltér a Bécsi Körtől. — (A pragmatizmusról lásd pl. A. Sz. Bogomolov: „A pragmatizmus”, Budapest 1966.)

idő" fogalma.<sup>7</sup> — (Bridgman azonban, ennek ellenére, nem zárja ki a fizikából az elemzés olyan módszereit sem, mint pl. az *extrapoláció*, a *hipotézis*, az *összehasonlítás*.) — Szerinte egy terminus igazi jelentését annak megfigyelésére kell alapítani, amit *végrehajtunk* azzal és nem arra, amit *mondunk* róla.

Gorszkij — Bridgman elméletének bemutatása után — behatóan bírálja azt, megjegyezve, hogy ugyanaz a mozzanat — ti. az elmélet szigorúságára, az egzaktásra törekvés — determinálja a koncepciónak mind a gyenge, mind az erős oldalait. Az elmélet gyengeségeit a következőkben látja:

1. Operacionálisan nem lehet meghatározni a klasszikus fizika valamennyi mennyiségét, nem szólva a mikrofizika mennyiségeiről. Számos fizikai mennyiség meghatározásához a „papír-ceruza operációk” is szükségesek. (182—183.)

2. Egyoldalú Bridgmannek az a megállapítása, hogy a „fogalom” és az „adott mérési operációk összessége”: szinonimák, hogy tehát *különböző mérési operációk esetén különböző fogalmakkal van dolgunk*. (184.) Bridgman hajlik arra, hogy eltérő fogalmaknak tekintse pl. az elemi hosszúságok, a kozmikus körülmények között optikai úton mért hosszúságok, vagy az elektron átmérője hosszának a fogalmait. Gorszkij nem vitatja, hogy e hosszúságok azonosságának a bizonyítása bonyolult feladat és hogy ma megoldatlan pl. az elemi hosszúságok és a kozmikus hosszúságok, vagy az elemi hosszúságok és az elektron átmérője hosszának az azonosítása. De — szerinte — Bridgman nem bizonyította ennek az azonosításnak az elvi lehetetlenségét. Ezért, Gorszkij szerint, „a hosszúság különböző fogalmai” helyett megfelelőbb „a hosszúság fogalmának különböző fajairól” beszélni. (185.)

Rámutat Bridgman koncepciójának erős oldalaira is. Ilyenek pl.: Az operacionális meghatározások kapcsolatot biztosítanak az alapvető fizikai mennyiségek és a tapasztalat között.<sup>8</sup> — Továbbá: Számos fizikai mennyiséget nem tudunk közvetlenül megfigyelni (úgy pl., mint egy tárgy formáját, méreteit); vannak fizikai mennyiségek, amelyek csak kísérletek, mérések útján nyilvánulnak meg. Ezért előnyös eljárás az, ha ezeket operacionálisan határozzuk meg.

#### IV. A KONSTITUTÍV MEGHATÁROZÁSOK A FIZIKÁBAN

Ugyanaz a fizikai objektum több, különböző módon is meghatározható. (Pl. „az erő a mozgás oka”, „az erő az, ami semlegesíti a súlyt”, „az erő a test eltéréseinek oka az egyenes vonalú egyenletes mozgástól”, „az erő egyenlő tömegszer gyorsulás” stb.) Ezért gyakran be kell bizonyítanunk különböző meghatározások ekvivalenciáját. (186.)

A meghatározások között vannak olyan *mennyiségi meghatározások*, amelyek *nem operacionális meghatározások*. (Ilyen pl. ez: „az erő egyenlő tömegszer gyorsulás”.) Ezek az ún. *konstitutív meghatározások*, amelyeknek igen nagy a jelentősége a fizikában.

<sup>7</sup> Nem tudunk olyan eljárást elképzelni, amellyel egy esemény „abszolút idejét” mérni lehetne. — (Bridgman nem tagadja az elméleti modellek jelentőségét a fizikában. De pl. olyan fogalmaknak, mint az „elektromágneses tér” vagy az „atom”, nem tulajdoníthatunk fizikai realitást. Ezért ezek a fogalmak, szerinte, kevésbé különböznek pl. a „flogiszton” fogalmától.) (183.)

<sup>8</sup> Bridgman szerint csak azoknak az elméleti konstrukcióknak van fizikai értelme, amelyeket le lehet írni kísérleti-mérési operációkkal.

Tehát a konstitutív meghatározások nem kísérleti-mérési operációk leírásai, hanem azok absztrakciókra, a természeti törvények matematikai leírására támaszkodnak. Egy fizikai mennyiséget (legalább) két másik mennyiség összefüggésével határoznak meg. (Pl. „az erő egyenlő: tömegszer gyorsulás”.) Végeredményben *Gorszkij* szerint *egy konstitutív meghatározás nem más, mint azoknak a gondolkodási, formális operációknak a leírása, amelyek lehetővé teszik egy mennyiség jelentésének a meghatározását más mennyiségek jelentésének ismerete alapján.* (189.)

Egy konstitutív meghatározás: ekvivalencia-kijelentés, amely a „két oldalnak” (az alanynak és az állítmánynak) az extenzionális azonosságát állítja. Ez a helyzet pl. az „erő” imént említett meghatározása esetén.

Számos fizikai mennyiséget nemcsak konstitutív úton, hanem operacionálisan is meg lehet határozni. Így pl. az „erőt” — „az erő egyenlő: tömegszer gyorsulás” konstitutív meghatározás mellett — operacionálisan is meg lehet határozni, leírva dinamométerrel történő mérését. Ez azonban nem általános érvényű megállapítás. Távolról sem lehet valamennyi konstitutív meghatározást operacionálisra felcserélni. (Pl. az elektron átmérőjének a hossza csak konstitutíven határozható meg, operacionálisan nem.)

Gyakran arra törekszenek, hogy konstitutív úton is meghatározzák azt, ami operacionálisan meghatározható. Ez általában lehetséges a klasszikus fizikában. Így pl. a sebességet meg lehet határozni operacionálisan (leírva sebességmérővel történő mérését) és konstitutív úton is (*s/t* útján).

Egy operacionális és az annak megfelelő konstitutív meghatározás akkor ekvivalens, ha a kérdéses objektum fizikai jellemzőinek mért és számított jelentései egyeznek egymással. — Az operacionális és a konstitutív meghatározások szoros kapcsolata biztosítja a fizika termékeny fejlődését.

## V. A MENNYISÉGI SZINETIZÁLÓ MEGHATÁROZÁSOK

Vannak a fizikában olyan objektumok, amelyeknek létezését tulajdonítanak, amelyek azonban közvetlenül nem tapasztalhatók. Ilyenek pl. a molekulák, az atomok, az elemi részecskék. Ezek a modell szerepét töltik be a fizikában. Az ilyen modell-objektumokat meghatározások segítségével vezetik be a tudományba. A megfelelő meghatározásokban a modell-objektum lényeges és specifikus tulajdonságait rögzítik, mégpedig úgy, hogy azok mennyiségi értékelést kapnak. Így pl. amikor meghatározzák az elektront, akkor rögzítik annak lényeges és specifikus tulajdonságait, így az elektron tömegét, töltését, átmérőjét stb. Az ilyen meghatározásokat nevezi *Gorszkij mennyiségi szintetizáló meghatározásoknak.*

Számos pozitívista beállítottságú fizikus nem tulajdonít fizikai realitást az ilyen fizikai objektumoknak. Szerintük az atom, az elemi részecskék, a mezők — nem léteznek valóságosan. *Gorszkij* nem osztja ezt a nézetet, s így azt sem, hogy a mennyiségi-szintetizáló meghatározásoknak kizárólag nominális jellegük lenne, azokat tehát nem lehetne a denotatív valóságra alkalmazni.

## VI. AZ OPERACIONÁLIS MEGHATÁROZÁSOK STÁTUSA

*Gorszkij* nem osztja *Bridgmannek* azt a véleményét, hogy a fizikában használatos valamennyi meghatározást vissza lehet, ill. vissza kell vezetni operacionális meghatározásokra. De nem ért egyet azzal a nézettel sem, amely szerint

az operacionális meghatározások egyáltalában nem meghatározások, a fizika valamennyi objektumát tulajdonságainak a leírásával kell meghatározni. (Ez a véleménye pl. *M. Bungénak*.<sup>9</sup> Szerinte még azok is, akik az operacionális „meghatározások” halálát.) Gorszkij álláspontja az, hogy az operacionális meghatározások eleget tesznek a meghatározásokkal szemben hagyományosan támasztott és *Arisztotelészre* visszanyúló követelményeknek; a fizika objektumai — többnyire — tulajdonságaikkal is és operacionálisan is meghatározhatók.

Nemcsak a fizikai kutatás empirikus, hanem elméleti szintjén is eredményesen lehet felhasználni az operacionális meghatározásokat. Azok — az utóbbi szinten — a helyettesítési szabályok szerepét töltik be, kölcsönös megfeleltetéseket tesznek lehetővé. Szabad teret nyitnak a természet mennyiségi elemzése előtt. Lehetővé teszik az elmélet alkalmazását a gyakorlatra.

Befejezésül a következő megkülönböztetést teszi. Vannak szűkebb értelemben vett operacionális meghatározások, ezek: a) a Bridgman-féle operacionális meghatározások és b) azok, amelyek sajátos kísérleti operációkat írnak le (ilyen pl. az a meghatározás, amely a savakat annak leírásával jellemzi, hogy miként reagál azokra a lakmuspapír) és vannak tágabb értelemben vett operacionális meghatározások, amelyek közé — a már említetteken felül — célszerű felvenni a konstitutív meghatározásokat.

\*

Gorszkij a meghatározás kérdéseit az absztrakció igen magas szintjén és — ugyanakkor — a fizika konkrét összefüggéseinek gazdag anyagára támaszkodva vizsgálja. Rendkívül gondolatébresztők a Bridgmanre vonatkozó kritikai elemzései. Dolgozatának tanulmányozását mindazok hasznosnak fogják megítélni, akik érdeklődnek a meghatározás problémái, a fizikai meghatározások különböző típusai és különösen Bridgman operacionális meghatározásainak helyes értékelése iránt.

<sup>9</sup> М. Бунге: Существуют ли операциональные определения физических понятий? («Вопросы философии», 1966/11.)