

A STATISZTIKAI TÖRVÉNYEK ÉRTÉKE A FIZIKÁBAN ÉS A TÁRSADALOMTUDOMÁNYOKBAN*

ETTORE MAJORANA¹

A természet determinisztikus koncepciója tartalmaz egy gyenge pontot, aminek folytán a tapasztalati adatok igen gyakran feloldhatatlan ellentmondásba kerülnek ismereteinkkel. *G. Sorel* úgy próbálta meg feloldani ezt az ellentmondást, hogy megkülönböztette a *mesterséges természetet* és a *természetes természetet* (ez utóbbi a nem oksági kapcsolatokra utal), ezáltal viszont tagadta a tudomány egységét. Másfelől a fizika és a társadalomtudományok statisztikus törvényszerűségeinek formális analógiája megerősíti azt a véleményt, hogy az emberi cselekedetek szintén valamiféle szigorú determinizmusnak vannak alávetve. Fontos tehát megjegyezni, hogy a kvantummechanika elvei (a jelenségek leírásakor megnyilvánuló objektivitás bizonyos hiányán túl) felismertetik azt, hogy az elemi folyamatok törvényei statisztikus jellegűek lehetnek. Ez az eredmény egy olyan analógiához vezethet, ami lényeges kapcsolatot jelenthet a fizika és a társadalomtudományok közt, s amely egyebek közt értékrendek és módszerek egyfajta egységét eredményezheti.

TÁRGYSZÓ: Fizika. Determinisztikus modell. Statisztikus modell.

Azon valós vagy feltételezett kapcsolatok tanulmányozása, melyek a fizika és az egyéb tudományágak közt léteznek, mindig számottevő érdeklődést vált ki, aminek oka, hogy a fizika a modern időkben különleges hatást fejt ki az általános tudományos gondolkodásra. Ismeretes, hogy a mechanika törvényei – sajátos módon – már hosszú ideje felülmúlhatatlan vívmányokként jelennek meg sokak számára a természetről való gondolkodásunkban, sőt sokan azt is hiszik, hogy ez a fajta elemzés a más tudományágak tö-

* Fordította: *Hunyadi László*.

¹ Ezt a cikket *Ettore Majorana* – a Nápolyi Egyetem jeles elméleti fizikusa –, aki 1938. március 25-én nyomtalanul eltűnt – eredetileg egy szociológiai folyóiratba szánta. Soha sem került azonban publikálásra, talán a szerzőnek abból a makacs elzárkózásából adódóan, amivel pályatársai irányában viselkedett, s ami miatt gyakran meggyőzte magát arról, hogy még igen lényeges műveit is asztalfiókba zárja. Ez a cikk testvérének szeretetteljes gondoskodása folytán maradt fenn, s most nem csak azért adjuk közre, mert tárgya igen érdekes, hanem még inkább azért, mert megmutatja Majorana személyiségének gazdagságát, ami annyira vonzotta azokat, akik ismerték. Ez a gondolkodó – aki egyesítette az éles realista gondolkodást a kivételes kritikai érzéssel, ami azonban sohasem vált szkepticizmussá – világosan kifejti álláspontját a fizika statisztikus törvényszerűségeiről folyó vitában. Ez, ami sokak számára az elmélet hiányossága – valójában azonban a természeti folyamatok indeterminizmusának meghirdetése –, Majorana számára alkalom arra, hogy a statisztikai módszer belső lényegét megértesse, azét a módszerét, ami eddiglen csak a társadalomtudományokban nyert lényegi alkalmazást, és ami a fizikai törvények új interpretációjában nyeri el eredeti jelentését. (ifj. *Giovanni Gentile*)

kéletlen fogalmaiból adódó problémák megoldására is visszahathat. Érdeemes hát részletebben tanulmányozni ezt a kérdést.

1. A természet koncepciója a klasszikus fizikában

Az a kivételes bizalom, amit a fizika élvez, nyilvánvalóan abból a felismerésből származik, hogy egzakt törvényekkel bír, amelyek viszonylag egyszerű formulákkal leírhatók. Ezen formulákat a tapasztalati tények részleges és közelítő megismerése alapján alakították ki, és általános érvényűek, vonatkoznak akár a jelenségek új rendjének leírására, akár a szigorú ellenőrzésnek alávetett kísérleti eredmények fokozatos finomítására. Mindenki tudja, hogy a klasszikus mechanika alaptörvénye értelmében egy anyagi test mozgását a kezdeti feltételek (a helyzet és a sebesség), valamint a rá ható erők tökéletesen meghatározzák. A természetben és az elvégzett kísérletek során az anyagi rendszerekben fellépő erők esetén a mechanika általános törvényei természetesen csak bizonyos feltételek vagy korlátok között érvényesek, mely feltételeknek mindig teljesülniük kell. Ilyen jellegű például a hatás és ellenhatás egyenlőségének elve, amelyhez hozzátehetünk még a nem túl távoli múltból további általános érvényű törvényeket, mint amilyen a kényszerfeltételek (virtuális munkák) elve, vagy a rugalmas reakciók elve, vagy – a még közelebbi múltból – az energiamegmaradás elve, mely utóbbi voltaképpen a mechanika általános érvényű törvénye. Eltekintve az ilyen általános elvektől, az egyes szakterületek fizikájának feladata abban áll, hogy a dinamika alapelveinek alkalmazásával az időről időre felmerülő jelenségeket feltárja, azaz megismerje az adott jelenségben szóba jöhető erőket és hatásokat.

Egy esetben mindazonáltal meg lehetett találni az általános kifejezést az anyagi testek közt fellépő erők közt: abban az esetben, amikor ezek a testek izoláltak és az erők a távolsággal fordítottan arányosan hatnak. Ebben az esetben – eltekintve az elektromágneses erőktől, amelyeket később fedeztek fel, és amelyek csak bizonyos körülmények közt lépnek fel – az egyetlen hatóerő az általános tömegvonzásra korlátozódik, amelynek működését *Kepler* törvényei matematikai analízisének segítségével *Newton* írta le. *Newton* törvényei jellemző módon alkalmazhatók az égitestek mozgásának tanulmányozásakor, mivel az égitesteket egymástól hatalmas üres tér választja el, és helyváltoztatásuk a távolságok miatt jól követhető. Mint ismeretes, ezek a törvények elégségesek ahhoz, hogy valóban minden szempontból és kiváló pontossággal előre jelezzük Naprendszerünk minden lényeges eseményét. Ugyanakkor egy kivételesnek tűnő apróság, a Merkúr perihéliájának lassú, évszázados elmozdulása az általános relativitás mai elméletének egyik legnagyobb empirikus bizonyítékát jelentheti.

A csillagászat területén alkalmazott mechanika kiemelkedő sikere természetesen bátorítólag hatott azon feltevésekre, melyek szerint a naponta tapasztalt bonyolultabb jelenségeket végső soron szintén valami hasonló mechanizmus vezérli: valami, a gravitációhoz hasonló, de némileg általánosabb törvény. Az ilyen nézetek szerint, melyek a természetet mechanikus módon szemlélik, az egész anyagi világ egyetlen szigorú törvénynek van alávetve, olymódon, hogy állapota egy bizonyos pillanatban tökéletesen meghatározott a megelőző pillanatbeli állapot alapján; ami azt is jelenti, hogy az egész jövő a jelenbe van beágyazva, abban az értelemben, hogy az teljes pontossággal előre látható, feltéve, hogy a világegyetem aktuális állapotát tökéletes pontossággal ismerjük. A természet ilyen teljesen determinisztikus koncepcióját számos tény erősítette meg: a fizika legutóbbi időkben elért eredmé-

nyei – az elektromágnesesség törvényeinek felfedezésétől a relativitáselméletig – valóban a klasszikus mechanika elveinek egyre szélesedő megerősítését sugallják, és lényegesen erősítik a fizika teljes kauzalitásának elvét. Nem vitatható, hogy a determinisztikus szemléletre szükség volt ahhoz, hogy lehetségessé váljék a modern tudománynak ez a grandiózus fejlődése a fizika legtávolabbi területein is. Ugyanakkor a determinizmus – amely nem hagy semmi helyet az emberi szabadságnak, pusztán illúzióknak tekinti, és az élet minden jelenségét előre meghatározottnak véli – rendelkezik egy nyilvánvalóan gyenge ponttal: gyakran azonnali és feloldhatatlan ellentmondásba kerül tapasztalati adatainkkal. Ezért minden valószínűség szerint azt mondhatjuk, hogy a fizika hagyományos koncepciója megújulásra szorul, és csak a statisztikus törvények érvényesülésének felismerése vezet el a modern fizika szükségszerű megújulásához. De egyelőre maradjunk a fizika klasszikus koncepciójánál, és nem csupán nagy történelmi hatása miatt, de azért is, mert ez a hétköznapi ember számára is ismert, nem csupán a szakemberek körében.

Mielőtt azonban lezárnánk ezt a bevezető részt, úgy gondoljuk, emlékeztetnünk kell olvasónkat arra, hogy a determinizmus kritikái felerősödtek, kiváltképp a közelmúltban. A filozófia számára – mely természetesen saját területéről nem kimozdulva és saját módszerét alkalmazva szeret közelíteni a jelenségekhez – a probléma jellegzetesen tudományelméleti. A fenti ellentmondás feloldásával egyebek közt *G. Sorel*² a pragmatista vagy inkább pluralista irányzat egyik képviselője próbálkozott. Szerinte a természeti jelenségek tényleges sokszínűsége kizárja azt, hogy egységes szemléletű ismeretanyagot lehessen alkalmazni rájuk. Ezért minden tudományos elv csak az egyes jelenségek meghatározott környezetében alkalmazható, anélkül, hogy valaha is törekedhetnénk általános érvényességre. *G. Sorel* sajátos módon fejt ki bírálatát a determinizmusról, leszögezve, hogy ez csak azokra a jelenségekre érvényes, amelyek az általa *mesterséges természetnek*³ nevezett közegben játszódnak le, s amelyekre az jellemző, hogy nem járnak érzékelhető energiacsökkenéssel. Ilyen jelenségek olykor bekövetkeznek spontán módon a természetben – leginkább a csillagászat találkozik velük –, és ezáltal egyszerű megfigyelésekkel behatárolható; ám leginkább azokban a laboratóriumi kísérletekben fordulnak elő, ahol különös gondot fordítanak arra, hogy az energia disszipációját kiküszöböljék. A többi jelenség (azok, amelyeket általában tapasztalunk, s ahol az energia disszipációjának mint passzív ellenállásnak szerepe van), azaz a *természetes természet* jelenségei nincsenek ilyen határozott determinisztikus törvényszerűségeknek alávetve, hanem kisebb-nagyobb mértékben a véletlentől függenek. A soreli gondolkodás határozottan emlékeztet *G. B. Vico* metafizikus gondolkodására. Nem kívánunk e helyütt vitatkozni a tudomány egy ilyen meglehetősen önkényes felfogásával, mely egyébként nem a mostani időszak terméke, rá kell azonban mutatnunk arra, hogy az a pragmatista felfogás – amely a tudományos gondolkodást annak valós haszna alapján ítéli meg – semmi-féle módon sem igazolhatja a tudomány egységének megbontására irányuló törekvést, mely egység oly sokszor a gondolkodás fejlődés hatékony előmozdítójaként jelent meg.

2. A statisztikus törvények klasszikus jelentése és a társadalomstatisztika

A mechanikában érvényesülő statisztikus törvények jelentésének jobb megértése érdekében célszerű emlékeztetni egy olyan, az anyag szerkezetére vonatkozó hipotézisre,

² *G. Sorel* [1921]: De l'utilité du pragmatisme. Cap.IV. Paris.

³ A mai terminológia inkább a *reverzibilis rendszerek* elnevezést használja (a szerk.)

amelyet már a régiek is ismertek, s amely a múlt század elején, *Dalton* munkássága nyomán vonult be a tudományba; ez a hipotézis már korábban természetes magyarázatot adott arra, ami a kémia alaptörvényeként látott napvilágot. Az atomok modern elmélete szerint – és ezt a fizika módszereivel tökéletesen lehet bizonyítani – a természetben léteznek olyan oszthatatlan apró elemi részecskék, az atomok, melyek egyszerű kémiai testek. Két vagy több azonos vagy különböző atom egyesüléséből, ritkábban egymástól elszigetelt atomokból jönnek létre a molekulák, amelyek az utolsó olyan részecskék, amelyek még önálló létezésre képesek, amennyiben meghatározott kémiai tulajdonságok hordozói. Az egyes molekulák (vagy esetenként az atomok a molekulákban) nem foglalnak el valamilyen rögzített helyet, hanem nagyon gyors, különböző irányú mozgásokat végeznek egymás körül. A gázállapotú testek molekuláris szerkezete kiváltképp egyszerű. Valójában a gázokban normális körülmények közt az egyes molekulák egymástól függetlennek tekinthetők és egymástól kicsiny méreteikhez képest viszonylag igen nagy távolságban helyezkednek el; következésképpen a tehetetlenség elve alapján, minthogy mozgásuk egyenes irányú és egyenletes, mozgásuk nagysága és iránya csak a véletlenszerűen bekövetkező kölcsönös ütközések következtében módosul. Ha feltételezzük, hogy pontosan ismerjük azokat a törvényeket, amelyek a molekulák kölcsönhatásait meghatározzák, azt várhatnánk, hogy a mechanika általános elvei alapján, elég *ezen túlmenően* a kezdő pillanatban az összes molekula helyzetét és mozgásának jellemzőit ismernünk ahhoz, hogy képesek legyünk *elvből* (feltéve, hogy a megfelelő számítási eszközök rendelkezésre állnak) előre jelezni a rendszer pontos állapotát egy bizonyos idő után. A mechanikára alapozott determinisztikus séma alkalmazása azonban nagyon is korlátozott érvényű, hiszen figyelembe kell vennünk, hogy a megfigyelés szokásos módszerei nem képesek egy rendszer pillanatnyi állapotának pontos leírására, hanem csak bizonyos mennyiségű általános információt tudnak szolgáltatni. Adott például egy fizikai rendszer, ami egy meghatározott mennyiségű és állapotú gázt jelent; elegendő ismernünk a nyomását és a sűrűségét ahhoz, hogy meg tudjuk határozni az összes több jellemző mennyiséget, a hőmérsékletét, a viszkozitási együtthatóját stb., amelyeket egyébként külön-külön is mérni tudunk. Más szavakkal, ebben az esetben a nyomás és a sűrűség ismerete elegendő ahhoz, hogy *makroszkopikus* szempontból teljesen meghatározzuk a rendszer állapotát, de nyilvánvalóan nem elegendők ahhoz, hogy minden pillanatban meghatározzuk belső struktúráját, azaz a molekulák helyzetének és sebességének jellemzőit, azok eloszlását.

Világosan és röviden, matematikai apparátus nélkül kifejtve: ha egy rendszer makroszkopikus állapota (A) és valóságos állapota (a) közti kapcsolat természetét akarjuk vizsgálni, annak érdekében, hogy következtetéseket vonhassunk le belőle és a dolgok lényegét megragadjuk, a pontosságból engednünk kell. Meg kell értenünk, hogy az A látható, vagy makroszkopikus állapotnak megfelelnek nagy számú tényleges lehetséges $a, a', a'' \dots$ állapotok, amelyek közt megfigyelési eszközeinkkel nem tudunk különbséget tenni. Ezeknek a lehetőségeknek a száma (N) a klasszikus koncepció szerint természetesen végtelen, de a kvantumelmélet szerint – amelynek lényege, hogy a természeti jelenségek nem folytonosak – egy anyagi rendszer belső struktúrájának lehetséges állapotai véges N számúak, jóllehet ez a szám hatalmas. Az N értéke a rendszer rejtett belső meghatározatlansága fokának egy mértéke lehet; a gyakorlat számára egy, a logaritmusával arányos mennyiséget szoktuk erre a célra használni:

$$S = K \log N .$$

Ebben a formulában K a Boltzmann-féle általános állandó, amelyet úgy határozunk meg, hogy S megegyezzen egy, a termodinamikából ismert fundamentális mennyiséggel, az *entrópiával*. Az entrópia a valóságban úgy jelenik meg, mint egy fizikai mérőszám, mint a súly, az energia stb. egyebek közt azért is, mert ezekhez az egyéb mennyiségekhez hasonlóan rendelkezik az additivitás tulajdonságával. Ez azt mondja ki, hogy egy független részekből álló rendszer entrópiája megegyezik az egyes összetevők entrópiáinak összegével. Ennek bizonyítására elegendő arra utalni, hogy egy összetett rendszer lehetséges állapotainak száma nyilvánvalóan egyenlő az összetevők számának szorzatával, másfelől pedig két vagy több szám szorzatának logaritmusával megegyezik logaritmusainak összegével.

Az $a, a', a'' \dots$ belső konfigurációk az A makroszkopikus állapothoz tartozó összességének meghatározása általában nem okoz nehézséget. Az azonban kérdéses, hogy az egyes $a, a', a'' \dots$ lehetőségek tekinthetők-e azonos valószínűségűeknek vagy sem. Az ergodikus illetve kvázi-ergodikus hipotézis szerint – melyeket okunk van bizonyítani tekinteni – ha egy rendszer meghatározatlan ideig egy A állapotban marad, az $a, a', a'' \dots$ konfiguráció minden eleme azonos átalakulásokon megy át, ami arra enged következtetni, hogy minden belső meghatározó lehetőség azonos valószínűséggel rendelkezik. Ez valójában egy újabb hipotézishez vezet, mivel az univerzum távol van attól, hogy meghatározatlan ideig azonos állapotban legyen, hiszen folyamatos átalakulásokon megy át. Tekintsük most a következő igencsak plauzibilis munkahipotézist, melynek következményei messzire nyúlnak, még akkor is, ha egyelőre nincs verifikálva: egy rendszer minden belső lehetséges állapota fizikailag jól meghatározott feltételek mellett a priori azonosan valószínű. Ez azt eredményezi, hogy minden makroszkopikus A állapothoz hozzárendelünk egy statisztikai sokaságot.

A statisztikus mechanika általános problémája ezek után az alábbi módon fogalmazható meg: statisztikusan definiálva (ahogy azt az imént megtettük) a rendszer A kezdőállapotát, milyen előrejelzések tehetők a t időpontbeli állapotára vonatkozóan? Első pillantásra úgy tűnhet, hogy ez a definíció túlságosan korlátozó, hiszen a valódi dinamikus probléma mellett a statikus helyzetet is figyelembe kell venni. Milyen a hőmérséklete például annak a gáznak, amelynek a nyomását és sűrűségét vizsgáljuk? És így minden esetben, amikor egy rendszernek valamilyen jellemzőt adunk, elegendő definiálni az állapotát, és levezetni ebből azon jellemzőket, amelyek számunkra érdekesek.

Tegyük fel tehát, hogy a vizsgált rendszer kiinduló állapota az $A = (a, a', a'' \dots)$ statisztikus módon írható le, ahol a különböző lehetséges esetek – mint mondtuk – azonos valószínűséggel fordulnak elő. Ezen meghatározók minden egyes eleme időben változik olyan törvényszerűségek szerint, amelyet a mechanika általános elvei alapján szigorúan okságinak tekintünk; ennek következtében egy bizonyos idő elteltével az $a, a', a'' \dots$ sorozat egy másik jól meghatározott $\beta, \beta', \beta'' \dots$ sorozatba megy át. A $\beta, \beta', \beta'' \dots$ statisztikai sokaság szintén N elemből áll, amelyek, akárcsak az A induló állapotban, mind egyforma valószínűséggel fordulnak elő (Liouville tétele), s ez lehetővé teszi, hogy megadjuk a rendszer alakulásának összes lehetséges előrejelzését. Olyan érvek alapján, melyeket csak részletes matematikai elemzéssel lehet precízen bizonyítani, általában előfordul, hogy az összes, a $\beta, \beta', \beta'' \dots$ -hez tartozó egyszerű eset mellett megjelenik bizonyos, *nem szignifikáns számú kivétel*, amelyek *részben vagy egészben* egy új B statisztikai sokaságot alkotnak, amely A -hoz hasonlóan makroszkopikusan jól meghatározott. Kimondhatjuk

tehát azt a statisztikus törvényszerűséget, miszerint A gyakorlatilag biztosan átmehet B -be. Ahogy azonban azt korábban kimondtuk, a B sokaság legalább olyan számosságú, mint A , azaz elemeinek száma nem kisebb, mint N , amiből az következik, hogy B entrópiája nagyobb vagy egyenlő, mint A entrópiája. Bármilyen átmenet az egyik állapotból a másikba a statisztikus törvényszerűség értelmében állandó vagy növekvő entrópiát jelent, sohase csökkenőt, ez pedig nem más, mint a termodinamika nevezetes második főtételének statisztikus megalapozása.

Meg kell jegyezni, hogy gyakorlati szempontból az A -ból a B -be való átmenet biztosnak tekinthető; ez magyarázza azt, hogy korábban a statisztikus törvényszerűségeket ugyanolyan megváltoztathatatlanoknak tekintették, mint a mechanika törvényeit, és csak az elméleti kutatások fejlődése tette lehetővé, hogy igazi jellegzetességeiket felismerjék. A statisztikus törvényszerűségek a fizika nagy részét felölelik. A leggyakoribb alkalmazások közül megemlítjük példaként a gázok állapotegyenletét, a diffúzióelméletet, a hővezető-képesség, a viszkozitás, vagy az ozmózisnyomás elméletét. A statisztikus elmélet egyik nagy vívmánya volt, hogy a fizikába elsőként vezette be a diszkrét mennyiségeket, melyeket a Planck-féle állandó szimbolizál. A fizikának van egy külön nagy ága, a termodinamika, amelynek elvei közvetlen tapasztalati úton jól megalapozhatók ugyan, mégis a statisztikus mechanika általános fogalmaiból vezethetők le. Amennyiben össze akarjuk foglalni az eddigieket, a klasszikus fizika szerint a statisztikus törvények jelentése a következő:

1. A természeti jelenségek abszolút módon determinisztikus törvényeknek vannak alávetve.

2. A szokásos megfigyelések nem engedik meg, hogy egy test belső állapotát pontosan megismerjük, csupán azt tudjuk rögzíteni, hogy sok ilyen lehetséges állapot létezhet, amelyeket nem tudunk egymástól megkülönböztetni.

3. A különböző lehetőségek (állapotok) bekövetkezési valószínűségeire hipotézisek készíthetők, és feltételezve a mechanika törvényeinek érvényességét, valószínűség-számítási eszközökkel több-kevesebb pontossággal lehetővé válik a jövőbeli jelenségek előrejelzése.

Most már megvizsgálhatjuk azt is, hogy mi a kapcsolat a klasszikus mechanika statisztikus törvényei és azok közt, amelyek hasonló elnevezéssel – és igazából csak empiriákra támaszkodva – jelennek meg a társadalomtudományokban.

Mielőbb meg kell győződnünk arról, hogy az analógia nem túlságosan szoros. Amikor például kifejtik a következő statisztikus törvényt: „egy európai típusú modern társadalomban évente ezer főre körülbelül 8 házasságkötés jut”, elég világos, hogy a rendszer, amelyen megfigyeléseinket végeztük, csak néhány fő globális jellemző által meghatározott, és szándékoltan elhanyagolunk olyan további adatokat (például mindazon személyeknek életrajzi adatait, akik a vizsgált társadalmat alkotják), amelyek ismerete kétségkívül hasznos lenne az adott jelenség nagyobb pontosságú és megbízhatóságú előrejelzésékor. Ez hasonló ahhoz, mint ahogy például egy gáz állapotát egyszerűen nyomásával és térfogatával jellemezzük, miközben tudatosan eltekintünk az összes molekulája induló állapotának vizsgálatától. Az egyik lényeges különbség lehet az, hogy míg a fizika statisztikus törvényei matematikai formulákban jelennek meg, a társadalomtudomány sta-

tisztikus törvényei világos és egyszerű empirikus alapokon nyugszanak; ám ez az empirizmus plauzibilis a társadalomstatistikában, hiszen a vizsgált jelenségek olyan komplexek, hogy többnyire nem lehet pontosan definiálni a törvények tartalmát és azokat a feltételeket, amelyek közt érvényesülnek. Másfelől persze a fizika is ismer hasonló empirikus törvényeket, kiváltképp, amikor olyan jelenségeket tanulmányoz, melyek csak az alkalmazás szempontjából érdekesek; ilyen például a szilárd testek közt fellépő súrlódás, vagy a különböző minőségű vasak mágneses tulajdonságai és más hasonló. Végezetül különös jelentőséget tulajdoníthatunk a törvények felismerése eltérő módjainak: ez a mód a fizikában globális szemléletű (azaz elegendő egy megfelelő műszert leolvasni ahhoz, hogy megismerjük egy gáz nyomását, jóllehet tudjuk, hogy ez annak összesített következménye, hogy az egyes molekulák egymástól független mozgásukkor nekiütköznek a rendszer falának), míg a társadalom statisztikai leírásakor általában egyedi adatokat regisztrálnak. Ezt az antitézist sem lehet azonban abszolutizálni, amint azt a közvetett megismerés módszereinek sora is mutatja.

Tegyük fel, hogy az érvek elegendőek ahhoz, hogy higgyünk egy, a fizika és a társadalom statisztikus törvényei közt meglévő valódi párhuzamban. Ekkor arra a logikus következtetésre kell jutnunk, hogy amennyiben a fizikában szigorú determinizmust tételezünk fel, akkor el kell fogadnunk azt is, hogy szigorú determinizmus vezérli az emberi cselekedeteket is; egy olyan érv, amely szerencsés annyiban – ahogy azt korábban mondtuk –, hogy ez egymástól független értelmekből és szándékokból kialakuló tendenciaként jelenik meg, s így a klasszikus fizika okságát vetíti ki általános érvényű modellé. Ehelyütt nincs lehetőség arra, hogy az ősrégi és sohase lezárt vitákat folytassunk ismét, mégis érdemes emlékeztetnünk arra az általánosan elfogadott tényre, miszerint a természetről alkotott ellentmondásos intuícióink soha meg nem történt feloldását már régóta nehezítik a modern gondolkodás és a morális értékek béklyói. Ezért nem lehet egyszerű tudományos kuriózumként tekinteni azt az állítást, hogy az utóbbi években a fizika arra van kényszerítve, hogy felhagyjon hagyományos irányvonalával és kivesse magából hasonló határozott módon a klasszikus mechanika abszolút determinizmusát.

3. A fizika új koncepciója

Lehetetlen lenne valamelyest is pontosan kifejteni néhány sorban a kvantummechanika matematikai sémáját és kísérleti tartalmát,⁴ ezért most csak néhány jellemző vonás kiemelésére korlátozzuk a tárgyalást. Vannak régóta ismert tapasztalati tények (az interferencia jelensége), melyek megcáfolhatatlanul a fény hullámtermészetét kimondó elmélet mellett tanúskodnak, míg más, nemrég felfedezett tények (Compton-hatás) ugyanakkor ezzel szemben nem kevesebb meggyőző erővel a korpuszkuláris elmélet helyességét sugallják. A klasszikus fizika keretein belül minden olyan kísérlet, amely arra irányult, hogy a kettő közti ellentmondást feloldja, sikertelennek bizonyult, a „miért” kérdése akár lényegtelennek is minősíthető. Arra nézve, hogy ilyen és más, egészen különböző természetű, nem kevésbé megmagyarázhatatlan jelenségek léteznek, sőt hogy szinte minden ismert fizikai jelenség magyarázata elégtelen, néhány éve megtalálták az egységes és

⁴ Ha az Olvasó szeretné mélyíteni ismereteit ezen a területen, a matematikai megoldás megismerése végett tanulmányozza *W. Heisenberg* [1931]: *Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* (Leipzig) c. művét.

csodálatosan egyszerű magyarázatot, amit a kvantummechanika elvei tartalmaznak. Ez a rendkívüli elmélet olyan szilárdan alapul a tapasztalatokra, ahogy korábban talán semmi más. Ebből következően a kritikák, amelyeknek alá van vetve, semmilyen módon nem kérdőjelezhetik meg a jelenségek előrejelzésében betöltött hatékony szerepének legitimitását, és megfogalmazódik az a sokak által hangoztatott vélemény, miszerint ennek az említett új iránynak fenn kell maradnia, sőt nagyobb hangsúlyt kell kapnia a fizika jövőbeni fejlődése során. A kvantummechanika azon jellegzetességei, amelyek szerint a leginkább különbözik a klasszikus mechanikától, a következők.

a) A természetben nem léteznek olyan törvények, amelyek a jelenségek sorozatos determinisztikus bekövetkezését írják le; az elemi jelenségekre (az atomok rendszerére) vonatkozó végső törvények statisztikus jellegűek, amelyek csak annak valószínűségét engedik meghatározni, hogy egy kísérlet adott módon elvégezve egy bizonyos eredményt kapjunk, bármilyen eszközök is álljanak rendelkezésünkre annak érdekében, hogy a rendszer induló állapotát a lehető legnagyobb pontossággal meghatározzuk. Ezek a statisztikus törvények a determinizmus teljes bukását jelzik, és semmi közülük nincs azokhoz a klasszikus statisztikai törvényekhez, melyeknél az eredmények bizonytalansága annak (a gyakorlati okokból fakadó) önkényes elutasításából adódik, hogy az egyes különös pillanatokban a rendszer fizikai kezdőfeltételeit nem tudjuk pontosan meghatározni. Tekintsük a későbbiekben ezeknek az új természeti törvényeknek egy jól ismert példáját!

b) A jelenségek leírásában az objektivitás bizonyos hiánya jelenik meg. Bármilyen kísérletet hajtunk végre egy atomi rendszeren, az véges perturbációt okoz önmagában a rendszerben, amelyet az alapelvek értelmében nem lehet sem kiküszöbölni, sem redukálni. Bármely mérés eredménye ezért sokkal inkább a rendszernek azt az állapotát mutatja, amelybe a rendszer a kísérlet során eljutott, semmint azt a megismerhetetlent, amelyben a rendszer volt, mielőtt megzavarták volna. A kvantummechanikának ez az aspektusa kétségkívül meglehetősen nyugtalanító, távol esik szokásos intuíciónktól – valójában nem más, mint az egyszerű determinizmus hiánya.

Az elemi jelenségekre vonatkozó valószínűségi törvények közül régóta ismertek a radioaktív folyamatokra vonatkozók. Eszerint minden radioaktív atom egy meghatározott mdt valószínűséggel, dt infinitezimálisan kis idő alatt az emisszió következményeként átalakul vagy egy α részecskévé (héliummag) vagy más esetekben β részecskévé (elektron). Az m halandósági ráta állandó, azaz független az atom életkorától, s ez egy sajátos (exponenciális) formát, *túlélési görbét* eredményez; ahol az átlagos élettartam $\frac{1}{m}$, és elemi módon meghatározható a valószínű élettartam, amit gyakran az *átmenet idejének* neveznek. Mindkettő független az atom életkorától, amely tehát az öregedésnek semmi jelét nem mutatja az idő múlásával. A megfigyelés különböző módszerei léteznek, sőt olyanok is, amelyek automatikusan regisztrálják az egyedi átalakulások számát egy radioaktív rendszer belsejében, és ezért lehetségessé vált közvetlen statisztikai eszközökkel és a valószínűségszámítás alkalmazásával verifikálni, hogy az egyszerű radioaktív atomok – amelyek sem kölcsönhatásban nincsenek egymással, sem külső behatás nem éri őket az átalakulás során – bomlásának száma egy meghatározott időintervallumban valóban független és a véletlentől, azaz az egyedi átalakulás valószínűségi jellemzőitől függ.

A kvantummechanika a radioaktív átalakulás exponenciális törvényét olyan elemi törvényként tanítja, amely nem redukálható egyszerű oksági mechanizmusra. Természetesen a klasszikus mechanika statisztikus törvényszerűségei, melyek komplex rendszerekre vonatkoznak, a kvantummechanika keretei közt is megőrzik érvényességüket. Ez magától értetődően módosítja a teljes konfigurációk meghatározottságának szabályait, két különböző módon, a Bose–Einstein- vagy a Fermi-féle statisztikus törvényeknek megfelelően. Az új típusú statisztikus vagy egyszerűbben szólva valószínűségi törvények

bevezetése a fizikába, melyek a determinisztikus szemlélet hagyományos statisztikai törvényeit váltják fel, arra indítanak azonban, hogy felülvizsgáljuk azt az analógiát, amit korábban a társadalomban érvényesülő statisztikus törvényekkel szemben felállítottunk. Vitathatatlan, hogy ez utóbbiak statisztikus jellege legalábbis részben abból adódik, ahogy a jelenségek feltételeit definiáltuk: általánosan, azaz valóban statisztikus módon – így azután olyan sokasággal számoltunk, amelyben igen sok különböző konkrét elem lehetősége van. A másik oldalról, ha emlékezünk arra, hogy mit mondtunk a radioaktív atomok *halandósági táblájáról*, azt kell kérdeznünk, hogy nem létezik-e itt is valamiféle valós analógia a társadalmi tényekkel, amit nagyon hasonló nyelven írhatunk le.

Egyvalami első ránézésre kizárható: egy atom bomlása egyszerű tény, előreláthatatlan időpontban, hirtelen és izoláltan következik be hosszú, évmilliókra vagy akár évmilliárdokra tehető várakozás után, miközben semmi hasonló jelenség nem ismert a társadalmat leíró statisztika által regisztrált tények köréből. Ez azonban nem legyőzhetetlen akadály.

Egy radioaktív atom bomlását automatikus számlálóhoz lehet kötni, amely mechanikusan regisztrálható és megfelelően erősíthető jelt tud adni. Ezért elegendők közönséges mesterséges laboratóriumi körülmények ahhoz, hogy komplex és jól látható jelenségek egész sorozatát hozzuk létre, melyet egyetlen radioaktív atom bomlása idéz elő. Pusztán tudományos szemszögből nézve semmi se indokolja azt, hogy ne tekinthetnénk plauzibilisnek azt, hogy valamikor az emberi történések kezdetén találhatunk egy fontos, ám hasonlóképpen egyszerű, láthatatlan és előreláthatatlan tény. Ha pedig ez így van, amint állítjuk, a társadalom statisztikai törvényei megerősíteni látszanak azt, hogy azok nem csak nagy számú ismeretlen ok eredőjeként kialakuló jelenségek empirikus felismeréséről szólnak, hanem és főként arról, hogy miként lehet azonnali és konkrét tanúbizonyságot szolgáltatni a valóságról. Ennek értelmezése külön tudományágot igényel, mely nagy segítséget jelentene a kormányzás művészetére számára.

SUMMARY

In this posthumous paper (written in the mid 30-s of the previous century) the author, the outstanding young physicist of his age, unfolds his views on the deterministic vs. stochastic (or statistic) nature of physics. He outlines the contradictions which occur if a strictly deterministic concept is followed, and highlights the way of solving these contradictions by using a more flexible statistical foundation of physics and mainly of mechanics. This new (in 1935!) concept can clearly be observed in the principles of quantum-mechanics. The key point of the paper is the analogy between the statistical laws in physics and in the social sciences that could yield an inherent relation of the two fields and result in a certain convergence of the research methodology.