Determinizmus és interpretáció

Gyenis Balázs, 2013. június

Kivonat

We argue that the truth of determinism is not an interpretation-free fact and we systematically overview relevant interpretational choices that are less known in the philosophical literature. After bypassing the well known interpretational problem that arises in quantum mechanics we identify three further questions about the representational role of the mathematical structures employed by physical theories. Finally we point out that even if we settle all representational issues the received view of physical possibility may also allow the truth of determinism to depend on prior philosophical convictions, notably on one's philosophical account of the nature of laws.

Bevezetés

A tanulmányban bemutatjuk, hogy a determinizmus fennállása nem interpretációtól mentes tény, és rendszerszerűen áttekintünk a determinizmus fennállását befolyásoló, a filozófiai irodalomban kevésbé ismert interpretációs választásokat. A determinizmus metafizikai tan mely szerint bizonyos feltételek teljesülése esetén az események vagy tények egyetlen fennállása lehetséges. Attól függően, hogy milyen típusú feltételek teljesülését kötjük ki különböző determinizmus fogalmakat kaphatunk. Természettudományi összefüggésben determinizmus alatt *nomologikus állapot-determinizmus*t szokás érteni: e szerint a természet törvényei és a világ egy adott időpontban vett lehetséges állapota együttesen egyértelműen meghatározzák a világ más időpontbeli állapotait.[1]

[1] A determinizmus irodalmában két fogalmat is szokás a nomologikus állapot-determinizmussal hasonló vagy azonos módon használni: az ún. Laplace és az ún. oksági determinizmust. Pierre-Simon de Laplace (1820) megfogalmazásában a determinizmus akkor teljesül, ha a természet törvényeinek és

Mivel sem a természet törvényeit, sem pedig a világ lehetséges állapotait nem ismerjük, nem tudjuk eldönteni, hogy a determinizmus tana igaz-e. Arra nézve, hogy mik a természet törvényei és melyek a világ lehetséges állapotai legjobb támpontjaink a fizikai elméletek. A tudományfilozófiában ezért széles körben kutatott kérdés, hogy amennyiben a legjobb fizikai elméleteink törvényeit igaznak tételezzük és elfogadjuk azt a módot, ahogyan ezen elméleteink leírják a lehetséges állapotokat, akkor ezen törvények és leírási módok alapján fennáll-e a determinizmus.

Ezzel a megközelítéssel két probléma adódik. Az első probléma az, hogy egy adott fizikai elmélet determinisztikus voltának eldöntése nem mentes bizonyos interpretációs választásoktól. A feladat látszólag egyszerű: meg kell határozni, hogy melyek egy fizikai elmélet törvényei és hogyan írja le az elmélet a világ lehetséges állapotait, és ellenőrizni kell, hogy vajon a törvények és egy lehetséges állapot együtt egyértelműen meghatározzák-e a más időpontbeli állapotokat. Ha igen, akkor az elmélet determinisztikus, ha nem, akkor nem determinisztikus. Fizikai elméleteinkben a törvények és az állapot-leírások matematikai formát öntenek és így a determinizmus kérdése matematikai eszközök segítségével jó

---

a világ egy adott állapotának ismeretében tudhatóak a világ más időpontbeli állapotai. Az ismeretekre és a tudhatóságra való hivatkozással a determinizmus fennállását Laplace megfogalmazása függővé teszi különböző episztemikus, kognitív, kalkulációs stb. képességektől, és így keverednek benne ismeretelméleti és metafizikai szempontok. A determinizmust azonban metafizikai tanként értjük, amelyet szükséges élesen megkülönböztetni más, episztemikusan terhelt fogalmaktól, mint például az előrejelezhetőség fogalma.

Az oksági determinizmus elnevezés a természeti törvények és a világ állapotai általi meghatározottságra szintén nem igazán szerencsés. A nomologikus állapot-determinizmus fentebb adott megfogalmazása nem használ oksági nyelvet – a megfogalmazás nem az okok és okozatok nyelvén fejezi ki az egyértelmű meghatározottságot, például hogy az okok egyértelműen meghatároznák az okozatokat – és vitatott, hogy az oksági nyelv használata természettudományi összefüggésben mennyiben segítené elő a determinizmus problémájának megértését. (A Laplace megfogalmazást, illetve az előrejelezhetőség problémájának és az oksági megközelítés elkülönítését lásd pl. (Earman; 1986, 4-12). Az oksági nyelv és a determinizmus viszonyáról lásd még Norton (2003).)

A nomologikus állapot-determinizmus nem az egyetlen fizikai szempontból releváns determinizmusfogalom; bizonyos fizikai törvényszerűségek – például késleltetett differenciálegyenletek – esetén természetesebb azt a kérdést feltenni, hogy vajon a világ állapotainak egy halmaza határozza-e meg egyértelműen a világ többi állapotát. Ezzel a problémakörrel ebben a tanulmányban nem foglalkozunk; további irodalomért lásd Earman (2007).

eséllyel eldönthető. Sajnos azonban előfordul, hogy több különböző matematikai formába is önthetjük a törvényeket illetve az állapot-leírásokat, és egyes matematikai formákban a determinizmus érvényesül, más matematikai formákban viszont a determinizmus nem érvényesül. A fizikai elmélet matematikai formájának kiválasztása nem mindig független a determinizmusra vonatkozó meggyőződésektől, ugyanis a fizikusok egyes esetekben éppen annak alapján választanak a különböző matematikai formák között, hogy melyik az, amelyben a determinizmus fennáll.

Ha megfelelő interpretációs választásokkal le is tudjuk küzdeni az első problémát, általánosságban az derül ki, hogy különböző fizikai elméletek különböző választ adnak a determinizmus kérdésére. Melyik fizikai elmélet válaszát fogadjuk el? Az általunk jelenleg ismert legjobb fizikai elméletek nem teljesen összeegyeztethetőek egymással, és nem egyértelmű, hogy a különböző eredményekből milyen, a világra vonatkozó általános következtetést lehet levonni a determinizmusra vonatkozóan. Ennek megfelelően a modern tudományfilozófiai szakirodalomban megjelenő munkák izolált fizikai elméletek válaszainak elemzésére korlátozódnak, e második, a különböző elméletek eredményeinek összekötését sürgető probléma megválaszolása nélkül.[2]

A tanulmányban a determinizmus fogalmának szabatos rögzítése nyomán kiemelünk négy interpretációs választást, amelyek mindegyike egyszersmind lehetőséget is ad arra, hogy segítségével a determinizmus fennállása mellett vagy ellen érveljünk. Ezt követi a fizikai lehetségesség bevett nézetének elemzése; rámutatunk arra, hogy a bevett nézetnek két különböző olvasata is van, és az egyik olvasat nyitva hagyja a lehetőségét a determinizmus fennállásának filozófiai elköteleződésektől, elsősorban a törvények természetéről alkotott nézetektől való függésére. Végezetül érvelünk amellett, hogy a bevett nézet ezen olvasata lehetővé teheti a determinizmus vázolt megközelítésével szemben fentebb említett két probléma összekötését, és ezen összekötés végsősoron segítségünkre is lehet a determinizmus védelmében.

[2] A fentieket illusztráló legjelentősebb összefoglaló munkák Earman (1986, 2007), illetve fellelhetők ezek irodalomjegyzékében.

A kezdetiérték-probléma megfogalmazás

Mikor mondjuk egy T fizikai elméletről, hogy determinisztikus? A következő meghatározás általánosan elfogadott:

(D) Legyen W a T elmélet szerint fizikailag lehetséges világok. T pontosan akkor *determinisztikus*, ha abból, hogy egy W-beli v és w egy-egy valamely időpontbeli állapota megegyezik következik, hogy $v = w$.[3]

Ez a meghatározás a lehetséges világ' fogalmának segítségével ragadja meg a determinizmus által megkövetelt egyértelmű meghatározottságot, ti. hogy bizonyos feltételek rögzítése esetén csak egyetlen lehetőség adódik. A modális fogalmakat természetesen sokféle módon érthetjük; itt a lehetségességre hivatkozó alethikus modális állításokra mint lehetséges világokról tett egzisztenciális állításokra tekintünk. E megközelítés alapján például ha a lehetséges az időutazás' állítás igaz, akkor azt a 'van egy olyan fizikailag lehetséges világ, amelyben időutazás történik' állításként érthetjük. Bár számos más rekonstrukciója is van a modális állításoknak,[4] a lehetséges világok beszédmód általánosan bevett gyakorlat a fizika filozófiai irodalmában.

A modalitás lehetséges világokkal való megközelítésén túlmenően elfogadjuk azt a széles körben osztott megközelítést is, miszerint a fizikai törvények határozzák meg azt, hogy mi fizikailag lehetséges. E két megközelítés együttesére mint a *fizikai lehetségesség bevett nézetére* fogunk hivatkozni. A bevett nézet alapján annak eldöntéséhez, hogy T elmélet determinisztikus-e, három tényezőt kell rögzítenünk: Mik a fizikai törvények? Melyek e törvények szerint fizikailag lehetséges világok és azok állapotai? Tartozhat-e több fizikailag lehetséges világ is ugyanazon állapothoz?

---

[3] Lényegében azonos meghatározásokért lásd például (Earman; 1986, 13) vagy (Earman; 2007, 1370). Érdemes megjegyezni, hogy egyes fizikai elméletek esetében kérdéses, hogy vajon a determinizmus fogalma egyáltalán értelmezhető-e: például az általános relativitás elméletnek vannak olyan modelljei, amelyekben nem lehetséges elkülöníteni globális időfüggvényt, és így azt a kérdést sem lehet feltenni, hogy vajon egy adott időponthoz tartozó állapot a törvényekkel együtt egyértelműen meghatározza-e a többi időponthoz tartozó állapotot.

[4] A lehetséges világok nyelvezete legalább Leibnizig visszavezethető; egy modern bevezetésért lásd Kripke (1959) és Lewis (1973) munkáit. A lehetségesség más megközelítéseihez lásd pl. Yagisawa (2009) összefoglalóját.

A dinamikai törvényeket matematikai formában tipikusan ún. differenciálegyenletek segítségével fogalmazzuk meg, és a fizikai elmélet szerint lehetséges világokra első megközelítésben úgy gondolunk, mint e differenciálegyenletek megoldásaira; a világ lehetséges állapotai ekkor a differenciálegyenlet megoldásainak valamely időpontban vett értékei. A determinizmus kérdése így azon matematikai formában jelenik meg, hogy vajon egy adott differenciálegyenletnek egy kezdeti értékhez (egy állapothoz) hány megoldása tartozik. Ha ezeknek az ún. kezdetiérték-problémáknak csak egy megoldása van, akkor az elmélet determinisztikus, ha esetenként több megoldása is van, akkor az elmélet nem determinisztikus.

A kezdetiérték-probléma megfogalmazás alapján úgy tűnik, hogy a determinizmus kérdése egyszerűen egy matematikai kérdésre vezet vissza, amit ugyan esetenként matematikailag nem egyszerű megválaszolni, mindenesetre a válasz maga mentes az interpretációs problémáktól. A fizika története azonban szolgál meglepetésekkel. A legismertebb felmerülő problémát egy belső feszültségekkel terhelt elmélet, a kvantummechanika szolgáltatja. Kérdéses, hogy a kvantummechanika mennyire tekinthető tisztán dinamikai elméletnek abban az értelemben, hogy az elmélet szerint lehetséges világokat ténylegesen egy törvényként tekintett differenciálegyenlet megoldásai reprezentálják-e. Amennyiben a lehetséges világokat nem egy differenciálegyenlet szigorú értelemben vett megoldásai szolgáltatják – például azért nem, mert valamilyen további mechanizmus is közbeavatkozhat a világ állapotainak alakulásába – akkor az előző bekezdésben felvázolt, a kezdetiérték-problémákra vonatkozó matematikai kérdés megválaszolása önmagában nem elégséges, hiszen a determinizmus fennállása ennek a további mechanizmusnak a viselkedésétől is függ.

Az interpretáció problémája ott jelenik meg, hogy fizikai megfontolások alapján nem tudjuk eldönteni, vajon a részecskék világában ténylegesen létezik-e az előző bekezdésben említett további mechanizmus. A kvantummechanika közgondolkodásba átszivárgott értelmezése szerint létezik, ti. a részecskék állapotainak megmérésekor ún. hullámfüggvény-kollapszus következik be, és ez Schrödinger-egyenlet szerinti normális dinamikai fejlődést megakasztó kollapszus a determinizmus sérüléséhez vezet. Az ún. kollapszus értelmezések mellett azonban más interpretációi is léteznek a kvantummechanikának, többek között olyanok is, amelyek a dinamikai fejlődést érintetlenül hagyják. Az egyik közkedvelt interpretáció, az ún. Bohm-mechanika alapján a kvantummechanika determinisztikus elmélet, ugyanis a Bohm-állapot és vezérlőegyenlet együttesen egyértelműen meghatározzák a más időpontbeli Bohm-állapotokat. Bár a Bohm-mechanika nem változtat azon az alapvető ismeretelméleti helyzeten, hogy a részecskék viselkedését tanulmányozó megfigyelők általában a részecskék viselkedésének csak a valószínűségéről tehetnek biztos kijelentéseket, ám a valószínűségek a Bohm-mechanikában a megfigyelők tudatlanságát fejezik ki, és nem vezetnek a determinizmus sérüléséhez.[5]

A determinizmus és a kvantummechanika értelmezéseinek kapcsolatával kiterjedt filozófiai irodalom foglalkozik, ezért a továbbiakban azon fizikai elméletekkel, illetve a fizikai elméletek azon interpretációival foglalkozunk, amelyek szerint nem létezik a dinamikai fejlődést megakasztó mechanizmus. A kezdetiérték-probléma megfogalmazás azonban számos további ponton is érzékeny matematikai és interpretációs választásokra. Amennyiben a formalista késztetésnek ellenállva egy 'fizikai elméletre' olyan, csak részben formalizált elemeket tartalmazó entitásként gondolunk, mint ahogyan a 'ponttestek klasszikus mechanikája,' az 'elektrodinamika,' a 'relativitáselmélet' stb. a tankönyvekben és fizikus szakcikkekben megjelennek, akkor egy 'fizikai elméletet' többféleképpen is lehet precíz matematikai formába önteni, illetve több különböző matematikai objektumra is tekinthetünk úgy, mint aminek reprezentációs szerepe van a fizikai elméletben. Különböző matematikai megfogalmazások, illetve különböző reprezentációs választások azonban különböző eredményre vezethetnek a determinizmust illetően.

Három, a matematikai fizikában ismert példát emelünk itt röviden ki, amelyek közül az első kettő kevéssé elemzett a tudományfilozófiai irodalomban. A kezdetiérték-probléma megoldásainak egyértelműsége értelemszerűen függ attól, hogy mit értünk egy kezdetiérték-probléma 'megoldása' alatt. Ez azonban korántsem egyértelmű. Az ún. klasszikus megoldás fogalma mellé a differenciálegyenletek irodalmában az elmúlt 80 évben több más megoldás-fogalom is született. Egy adott megoldás-fogalomhoz ragaszkodva számos fizikailag releváns problémának vagy nem létezik megoldása, vagy túl sok megoldása van, vagy a megoldások nem függnek folytonosan az adatoktól. Ezt a problémát felismerve a matematikai fizikában általánossá vált a gyakorlat, hogy a megoldás-fogalmat mindig

[5] A kvantummechanika különböző interpretációihoz egy könnyen hozzáférhető összefoglalóért lásd Albert (1992) könyvét. A Bohm-mechanika kezdetiérték-problémájával kapcsolatos eredményekről Berndl et al. (1995) ad áttekintést.

az adott fizikai problémához szabjuk, ti. azt a megoldás-fogalmat keressük, amellyel a fizikai problémának létezik egyértelmű, megfelelően megválasztott topológiával az adatoktól folytonosan függő megoldása. Ha azt tapasztaljuk, hogy egy adott megoldás-fogalommal élve a kezdetiérték-problémának több megoldása is van, úgy nem vonjuk le rögtön a következtetést, hogy a determinizmus sérül, hanem megpróbáljuk a fogalmat kicserélni egy másik, fizikailag még elfogadható megoldás-fogalomra, amellyel a megoldás már egyértelművé válik.[6] A determinizmus tehát, egy Pauli parafrázissal élve, inkább heurisztikus elvként és irányjelzőként funkcionál, amely mutatja az utat, amely felé a tudományos kutatásnak – ez esetben a megfelelő matematikai megfogalmazásnak – haladnia kell, mintsem hogy egy olyan metafizikai elv lenne, aminek az érvényességét közvetlenül kiolvashatjuk az elvtől függetlenül adott fizikai elméletből. Értelemszerűen amennyiben nem fogadjuk el a determinizmus eme heurisztikus szerepét a helyes megoldás-fogalom kiválasztásában, hanem valamilyen, a determinizmus fennállásától független elv alapján választjuk meg a lehetséges világok reprezentációját szolgáló megoldás-fogalmunkat, úgy egy elmélet determinisztikus volta közvetlenebb módon függ attól, hogy milyen matematikai választással élünk.

Egy fizikai elmélet determinizmusa függ attól is, hogy az elmélet fizikai törvényeinek melyik matematikai megfogalmazását tekintjük azok helyes reprezentációjának. A törvények ún. differenciál formája ugyanis lehetővé teheti olyan, több megoldással is rendelkező kezdetiérték-problémák megfogalmazását, amiket az ún. integrál forma kiszűr. A Schrödinger-egyenlet kapcsán, amelynek differenciál formája megengedi, ám az integrál formája nem teszi lehetővé bizonyos kezdeti állapotokhoz több lehetséges jövőbeli fejlődés létezését, a jelenségre már a tudományfilozófiai irodalom is rámutatott.[7] A jelenség azonban ennél általánosabb: a lineáris differenciálegyenletek esetén az integrál formában megjelenő ún. propagátorhoz mindig lehet találni egyértelmű és a kezdeti értékektől folytonosan függő megoldásokkal rendelkező differenciál formát, ám nem minden differenciál

[6] Az ún. gyenge megoldás leggyakrabban használt fogalmának bevezetéséhez és a fizikában előforduló differenciálegyenletekre történő alkalmazásához lásd Evans (1998) könyvét. Egy egyszerű példáért, amelyen jól nyomon követhető a különböző megoldás-fogalmak közötti dialektika, lásd például a Hamilton-Jacobi egyenlet Deville (1999) által adott elemzését. A megoldás-fogalom helyes megválasztásának további elemzése megtalálható itt: Gyenis (2013).

[7] Lásd Norton (1999).

formában megfogalmazott egyenletre igaz, hogy az összes megoldása egyértelmű és a kezdeti értékektől folytonosan függ.[8] A jelenség alapos elemzése komoly matematikai felvezetést igényelne, amely egy külön tanulmány feladata lehet; számunkra itt az a tanulság érdekes, hogy a fizikai elméletekben a törvényeket reprezentáló matematikai objektum megválasztása nem magától értetődő, és különböző választások különböző eredményre vezethetnek az elmélet determinizmusát illetően.

A determinizmus fennállását a törvények mellett a lehetséges állapotok és lehetséges világok matematikai reprezentációjának megválasztása is befolyásolja. Az egyik fő probléma annak biztosítása, hogy különböző matematikai reprezentációk különböző fizikailag lehetséges világokat reprezentáljanak. Amennyiben a választott matematikai reprezentáció fizikai korrelátummal nem rendelkező többlet-struktúrát tartalmaz, úgy a determinizmus formailag könnyen sérülhet anélkül, hogy ez a sérülés ténylegesen megjelenne a fizika modális tényeiben, ti. ha az állapotok csak a többletstruktúra más időpontbeli alakulását nem határozzák meg egyértelműen. Az interpretációs probléma abban áll, hogy gyakran nincsen független módszerünk arra, hogy eldöntsük, vajon egy adott matematikai reprezentáció ténylegesen fizikai korrelátummal nem rendelkező többletstruktúrát tartalmaz-e, vagy pedig a determinizmus sérüléséhez vezető létező fizikai tulajdonságot reprezentál. A fizikusok tipikus attitűdje e kérdés tekintetében hasonló, mint a helyes megoldás-fogalom megválasztásakor: a determinizmus heurisztikus elvként szolgál, amelynek sérülését, amennyiben ezt a kísérleti tapasztalatok engedik, a többletstruktúra jelenlétének és így matematikai reprezentáció nem megfelelő megválasztásának tulajdonítják.[9]

Ez utóbbi, az irodalomban az ún. gauge-szabadság témaköréhez kapcsolódó reprezentációs probléma a korábban említett kettőnél annyival súlyosabb, hogy gyakran a természetesen' adódó reprezentációról, így például a törvényként értelmezett differenciálegyenletek megoldásairól derül ki, hogy – feltehetően – többlet-struktúrát tartalmaznak. Azonban komoly interpretációs nehézségekbe ütközhetünk, ha a természetes reprezentációt elvetjük, és helyette például ezen természetes reprezentációkból alkotott ekvivalencia-osztályra tekintünk úgy, mint ami egy fizikailag lehetséges világot repre-

[8]Ennek a tömör állításnak a precíz és nem minden kitételtől mentes matematikai megfogalmazásához lásd Fattorini (1983) összefoglalóját. Egy részletes filozófiai elemzésért lásd Gyenis (2013).

[9]A determinizmus heurisztikus elvként való értelmezése kapcsán lásd pl. (Earman; 2007, 1372).

zentál.[10] A determinizmus fenntartásáért tehát komolyabb árat kell fizetnünk, mint amikor csak az azáltal keltett nyugtalanságot próbáljuk leküzdeni, hogy különböző fizikai elméleteknél esetleg különböző megoldás-fogalomat kell választanunk.

Tegyük most félre a fent említett bonyodalmakat és rögzítsük valamilyen módon, hogy egy fizikai elmélet mely típusú matematikai objektumainak van reprezentációs szerepe. Függhet-e még ekkor is a determinizmus fennállása interpretációs választásoktól?

A bevett nézet két olvasata

Hogyan határozzák meg a fizikai törvények a fizikailag lehetséges világokat a bevett nézet szerint? A fizikai lehetségesség bevett nézetének egyik általánosan elfogadott olvasata a következő[11]:

(a) Egy lehetséges világ pontosan akkor fizikailag lehetséges ha kielégíti az aktuális világ fizikai törvényeit.

Tekintve, hogy nem ismerjük az aktuális világ fizikai törvényeit, és tekintve, hogy jelenlegi legjobb fizikai elméleteink nem konzisztensek egymással, az aktuális világ törvényei helyett adott fizikai elméletek törvényeihez szokás a fizikai lehetségesség fogalmát relativizálni:

(A) Egy lehetséges világ pontosan akkor fizikailag lehetséges T elmélet szerint ha kielégíti T fizikai törvényeit.

[10] Egy részletesebb elemzésért lásd (Earman; 2007, 1378-1381).

[11] Néhány példa az irodalomból:

> Letting $\mathcal{W}$ stand for the collection of all physically possible worlds, that is, possible worlds which satisfy the natural laws obtaining in the actual world, [...] (Earman; 1986, 13)

> In saying of a certain state of affairs that it is „physically possible," one of the things we might mean is this: that the state of affairs is one such that the statement that it obtains is, by itself, consistent with the laws of nature. (Chisholm; 1967, 412)

> Our world seems to be governed by laws, at least around here. When we say that an event or situation is physically possible we mean that its occurrence is consistent with the constraints that derive from the laws. (Maudlin; 2007, 18)

Ha egy T elmélet fizikai törvényei megegyeznek az aktuális világ fizikai törvényeivel akkor az aktuális világhoz kötött (a) és az elmélethez kötött (A) változatok értelemszerűen egybeesnek.

Tegyük most fel, hogy

(1) rögzítjük a differenciálegyenletek egy megoldás-fogalmát, és az ezen módon definiált megoldások 'elégítik ki' a differenciálegyenletet,

(2) T fizikai törvényeit T differenciálegyenletei reprezentálják, és

(3) T differenciálegyenleteinek különböző megoldásai különböző lehetséges világokat reprezentálnak.

Ekkor T elmélet pontosan akkor determinisztikus, ha kezdetiérték-problémáinak legfeljebb egy megoldása létezik. Amennyiben a

(4) T fizikai elméletnek van olyan kezdetiérték-problémája, amelynek több megoldása is létezik,

úgy a (D), (1)-(4), és az (A) feltevésekből következik, hogy T elmélet nem determinisztikus.

Az előző fejezetben bemutattuk, hogy az (1)-(3) feltevések mindegyike interpretációs választás eredménye, (4) pedig matematikai ténykérdés. Amennyiben (1)-(4) feltevéseket rögzítjük, egyetlen feltevés marad, amelytől a (D)-ben megfogalmazott determinizmus fennállása függ, ez pedig (A). Természetesen felvetődő kérdés tehát a következő: van-e a fizikai lehetségesség bevett nézetének olyan, (A)-tól különböző olvasata, amely még helyet hagy az interpretációnak?

A válaszunk óvatos 'igen.' A következő észrevétellel kezdjük: bár a fizikai lehetségesség bevett nézete általánosan elfogadott, és az azt elfogadó filozófusok és fizikusok szándékaik szerint ezt az általánosan elfogadott nézetet vetik papírra, a bevett nézet valójában két különböző módon fogalmazódik meg. Az egyik olvasat a fentebb idézett (a) és (A). A másik olvasat a következő[12]:

[12]Néhány példa az irodalomból:

> A physically possible world is any possible world which has the same natural laws as does the actual world. (R. Bradley; 1979, 6)

(b) Egy lehetséges világ pontosan akkor fizikailag lehetséges ha fizikai törvényei megegyeznek az aktuális világ fizikai törvényeivel.

(B) Egy lehetséges világ pontosan akkor fizikailag lehetséges T elmélet szerint ha fizikai törvényei megegyeznek T fizikai törvényeivel.

Mind (A) és (B) a lehetséges világok nyelvezetén ragadja meg a modalitást és mindkét olvasat szerint a fizikai törvények határozzák meg, hogy mi fizikailag lehetséges. Tehát mind (A) és (B) a fizikai lehetségesség bevett nézetének olvasata. A két olvasat azonban csak látszólag fogalmazza meg ugyanazt az elvárást. Ahhoz ugyanis, hogy (B) szerint egy w lehetséges világ fizikailag lehetséges legyen nem elegendő, hogy w-ben egy adott T fizikai elmélet L fizikai törvénye igaz állítás legyen, hanem az is szükséges, hogy L fizikai törvénye is legyen a w lehetséges világnak.

Előfordulhat, hogy L igaz a w lehetséges világban ám L nem fizikai törvénye w-nek. Ekkor w fizikailag lehetséges (A) szerint ám nem fizikailag lehetséges (B) szerint. (B) tehát a fizikailag lehetséges világok szűkebb halmazát eredményezheti, mint (A). A fizikailag lehetséges világok szűkebb halmazával viszont javulnak a determinizmus esélyei is, hiszen a determinizmus fennállása attól függ, hogy adott állapotok csak egy vagy több fizikailag lehetséges világgal is összeegyeztethetőek-e. Előfordulhat tehát, hogy míg (A) és (1)-(4) feltevések mellett a determinizmus sérül addig (B) és (1)-(4) feltevések mellett az elmélet determinisztikus.

Egy ilyen konklúzió megalapozásához azonban hosszú út vezet: meg kellene mutatni, hogy ténylegesen van különbség a két olvasat között, továbbá érvelni kellene amellett, hogy (B) olvasat olyan szűkülését is eredményezheti a fizikailag lehetséges világok halmazának, amely releváns a determinizmus fennállásának szempontjából. Ezek a lépések, mint látni fogjuk, további interpretációs választásokon nyugodnak, ezért vázlatosan bemutatjuk,

---

> [...] There are possible worlds in which Ling-Ling is a plaid panda and in which the laws are exactly the laws of the actual world. Invoking the standard definition of physical possibility, it follows that it is *physically possible* for Ling-Ling to be a plaid panda. (Carroll; 1994, 174)

> Let the *physically possible* worlds be those in which all and only the laws of physics of the actual world are laws of physics therein. [...] (Witmer; 2001, 62)

hogy milyen további feltevéseket igényelnek[13].

Fizikai lehetségesség és fizikai törvények

Van-e tényleges különbség a fizikai lehetségesség bevett nézetének (A) és (B) olvasata között? Ez attól függ, hogy a T elmélet egy fizikai törvényét kifejező L állítás vajon fizikai törvény-e minden olyan w lehetséges világban, ahol L igaz. Ez pedig függ attól, hogy mit gondolunk a fizikai törvények természetéről. Amennyiben úgy gondoljuk, hogy a fizikai törvények a világ nem-nomikus tényein élősködnek (szuperveniálnak), úgy a válasz jó eséllyel nemleges, hiszen ebben az esetben w nem-nomikus tényein múlik, hogy mely állítások lesznek fizikai törvények w-ben és melyek nem.[14]

A törvények nem-nomikus tényeken való élősködésének legismertebb képviselője az ún. Legjobb Rendszer nézet a törvények természetéről. Egy világ nem-nomikus tényeiről többféle deduktív rendszer segítségével is számot lehet adni. Ezen deduktív rendszerek között lesznek különbségek: egyes deduktív rendszerek informatívabbak lesznek másoknál abban az értelemben, hogy a világ több nem-nomikus tényéről képesek számot adni; egyes deduktív rendszerek axiómái egyszerűbb alakot öltenek mint másoké, stb. A Legjobb Rendszer nézet szerint a törvények azon deduktív rendszer axiómái, amely a legjobb egyensúlyt képes elérni az informativitás és az egyszerűség között.[15] Bár az egyszerűség, az informativitás, és a legjobb egyensúly fogalmai erősen problematikusak, és ezek egyértelműsítése nélküli következtetések gyenge lábon állnak, a Legjobb Rendszer nézet egyike a jelenleg leginkább elfogadott elképzeléseknek arról, hogy mi tesz egy állítást törvénnyé.

[13]E tanulmányban nem foglalkozunk azzal a kérdéssel, hogy vajon milyen szempontok alapján dönthetünk az (A) és (B) olvasat között; egy elemzésért lásd Gyenis (2013).

[14]A törvények hume-i élősködésének első megfogalmazását lásd (Lewis; 1986, ix). Azt, hogy mik számítanak nem-nomikus' tényeknek' vita tárgya; a hume-i élősködés különböző megfogalmazásaihoz lásd Earman and Roberts (2005a,b). E tanulmányban nem foglalkozunk azzal a fogós kérdéssel, hogy a humeánus természettörvény-felfogás mennyiben egyeztethető össze a modalitás lehetséges világok segítségével történő elemzésével.

[15]A Mill, Ramsey és Lewis nevével fémjelzett Legjobb Rendszer nézethez lásd Callender (2008), Cohen and Callender (2009), Earman (1986), Lewis (1973, 1983, 1986, 1994), Loewer (1996), Mill (1947), és Ramsey (1978) írásait.

Amennyiben a Legjobb Rendszer nézetet elfogadjuk, úgy (A) és (B) fizikailag lehetséges világai különbözhetnek. Egy illusztráló példa a következő. A töltések és elektromágneses mező nélküli üres w világ kielégíti a Maxwell-egyenleteket és így w az elektrodinamika törvényei és (A) alapján fizikailag lehetséges. Ugyanez az üres w világ azonban nem fizikailag lehetséges az elektrodinamika törvényei és (B) alapján: a Maxwell-egyenletek nem törvények w-ben, ugyanis 'a világ üres' állítás ott feltehetően jobb egyensúlyát éri el az egyszerűségnek és az informativitásnak, mint a Maxwell-egyenletek. Az elektrodinamika törvényei és (B) alapján csak kellő számú és típusú töltést és elektromágneses mezőt tartalmazó világok lesznek fizikailag lehetségesek, mint amilyen a saját aktuális világunk is, amelyben ezeket a törvényeket felfedeztük.

Látjuk tehát, hogy (B) fizikailag lehetséges világainak halmaza függhet attól, hogy milyen nézetet fogadunk el arról, hogy mi tesz egy állítást törvénnyé. A nézet megválasztása filozófiailag terhelt, és nem következik a korábban tárgyalt (1)-(4) feltevésekből. Azt ugyanis, hogy mi tesz egy állítást törvénnyé egy lehetséges világban nem rögzíti, hogy mi az aktuális világ törvényeinek listája és azok milyen matematikai formában reprezentálódnak.

Legjobb Rendszer és determinizmus

Tegyük fel, hogy (1)-(4) feltevések igazak egy T fizikai elméletre. Ekkor a fizikai lehetségesség bevett nézetének (A) olvasatából következik, hogy T nem determinisztikus. Kérdésünk e fejezetben a következő: van olyan nézete a törvények természetének, amely alapján a (B) olvasatból következik, hogy T determinisztikus?

Legyen L a szóban forgó T fizikai elmélet törvényét reprezentáló differenciálegyenlet. Nevezzük *determinisztikus megoldás*nak L minden olyan megoldását, melynek bármely állapotával vett kezdetiérték-problémának egyetlen megoldása van. Hasonlóképpen nevezzük *indeterminisztikus megoldás*nak L minden olyan megoldását, amelynek valamely állapotával vett kezdetiérték-problémának több megoldása is van. Végezetül nevezzük *indeterminisztikus csokor*nak az indeterminisztikus megoldások bármely olyan halmazát, amelynek elemei valamely állapotukban megegyeznek.

A determinisztikus és indeterminisztikus megoldások összessége reprezentálja az (A) olvasat által fizikailag lehetségesnek ítélt világokat. Ahhoz, hogy a bevett nézet (B) olvasatából T determinizmusa következzen szükséges, hogy a (B) szerint fizikailag lehetséges világokat a megoldások ennél szűkebb halmaza reprezentálja: bár a determinisztikus megoldások mind benne lehetnek ebben a halmazban, az indeterminisztikus csokrokból legfeljebb egy-egy megoldás lehet benne. A törvények természetének tehát egy olyan nézetét keressük, amely szerint a determinisztikus megoldások által reprezentált világok bármelyikének, míg az indeterminisztikus csokrok megoldásai közül legfeljebb egy-egy megoldás által reprezentált világnak reprezentálhatja L a törvényét.

Mi az a tulajdonság, ami elválaszthatja egymástól a determinisztikus és az indeterminisztikus megoldásokat? Adja magát a következő megfigyelés: egy determinisztikus megoldás esetén L maximálisan informatív abban az értelemben, hogy a megoldás egy állapotával kiegészítve megadja minden múlt és jövőbeli nem-nomikus tényét a megoldás által reprezentált világnak. Egy indeterminisztikus megoldás esetén L ebben az értelemben nem maximálisan informatív, hiszen még egy további állapot ismeretében sem képes számos különböző nem-nomikus tény közül kiválasztani azokat, amelyek igazak lesznek a megoldás által reprezentált világban. A különbség L informativitásában a determinisztikus és indeterminisztikus megoldások esetén jelzi, hogy a Legjobb Rendszer nézet valamilyen változata segítségünkre lehet az indeteminisztikus megoldások által reprezentált világok kiszűrésére.

A Legjobb Rendszer alkalmazásához azonban L informativitásbeli különbsége a determinisztikus és indeterminisztikus megoldások között önmagában még kevés. Ahhoz, hogy (B) egy indeterminisztikus megoldás által reprezentált w világot ne találjon fizikailag lehetségesnek arra is szükség van, hogy létezzen egy L-től különböző L*'*, amelynek w nem-nomikus tényeiről adott leírása jobb egyensúlyát biztosítja az egyszerűségnek és informativitásnak, mint L. Ha L bármely indeterminisztikus megoldásához lenne ilyen L*'*, akkor a Legjobb Rendszer nézet, (B) és (1)-(4) feltevések alapján T determinisztikus elmélet, annak ellenére, hogy (A) és (1)-(4) alapján nem determinisztikus.

Ez a kérdés kijelöl egy kutatási programot. A kutatási program matematikai-fizikai oldalán azt keressük, hogy vajon egy fizikailag releváns differenciálegyenlet indeterminisztikus megoldásához mindig lehet-e találni egy olyan másik, fizikailag releváns, egyszerű összefüggést, amely informatívabb ezzel a megoldással kapcsolatban, mint az eredeti differenciálegyenlet. A filozófiai oldalon ugyanakkor motiválni próbáljuk a fellelendő összefüggést jellemző egyszerűség és informativitás-fogalmakat, és ezek alapján keressük a Legjobb Rendszer nézetnek azt a megfogalmazását, amely ezt az összefüggést sikeresen törvénynek koronázza.

Ez a kutatási program *in abstracto* meglehetősen kilátástalannak tűnik, azonban néhány észrevétel reményre adhat okot. Ahelyett, hogy egy minden elképzelhető fizikai elméletre egyöntetűen alkalmazható sémát keresnénk, érdemes közelebbről szemügyre venni a fizikában ténylegesen törvényként megjelenő differenciálegyenleteket. Az indeterminisztikus megoldások megjelenése tipikusan az ún. parabolikus és az ún. elliptikus differenciálegyenletekhez köthető, mint amilyen például a klasszikus hőegyenlet vagy a Laplace egyenlet az elektrosztatikában. Az ún. kvázilineáris elsőfajú hiperbolikus egyenletekről azonban, és a legalapvetőbb dinamikai egyenleteink ilyen formába önthetőek, tudjuk, hogy csak determinisztikus megoldásokkal rendelkeznek. Ezen említett differenciálegyenlet típusok nem teljesen függetlenek egymástól. Robert Geroch, a fizikában megjelenő parciális differenciálegyenletek egyik legismertebb szakértője szerint

> [...] A case could be made that, at least on a fundamental level, all the „partial differential equations of physics" are hyperbolic –that, e.g. elliptic and parabolic systems arise in all cases as mere approximations of hyperbolic systems. Thus, Poisson's equation for the electric potential is just a facet of a hyperbolic system, Maxwells equations. (Geroch; 2008, 2-3)

Magyarán a (4)-es feltételt kielégítő, kezdeti érték indeterminizmust eredményező differenciálegyenletek közelítései a dinamikai folyamatokat hűbben leíró, determinisztikus differenciálegyenleteknek.

Ha általánosan igaz lenne, hogy egy *T* fizikai elmélet *L* differenciálegyenletének egy *s* indeterminisztikus megoldásához találhatunk egy olyan, azt közelítő *s'* leírást, amely determinisztikus megoldása egy *T'* fizikai elmélet *L'* differenciálegyenletének, akkor részben meg lehetne kerülni a Legjobb Rendszer nézet által alkalmazott egyszerűség fogalom elemzését: mivel *L'* itt egy másik fizikai elmélet törvényét reprezentáló differenciálegyenlet, ezért feltehetően ki is elégíti az egyszerűség kritériumát (tekintve, hogy ezt a kritériumot, bármiben is álljon, a Legjobb Rendszer nézet képviselői a tényleges fizikai elméleteinkben fellelhető törvények 'egyszerűségével' motiválják). Azonban kérdéses, hogy tekinthetjük-e s-re nézve L'-t informatívabbnak L-nél, hiszen s nem megoldása L'-nek, puszán közelítése egy másik s' leírásnak, amely megoldása L'-nek. L' ebben az értelemben vett nagyobb informativitása azon múlik, hogy informatívabbnak tartunk-e egy olyan állítást, amely kezdeti értékekkel kiegészítve képes megadni a nem-nomikus tények egy valamekkora közelítésen belüli teljes leírását egy olyan állításnál, amely nem képes ilyen módon a nem-nomikus tények teljes leírását nyújtani. Ha a közelítést megengedő teljes leírást engedélyező állítást tartjuk informatívabbnak, úgy s-re nézve L' informatívabb L-nél, míg egyszerűség tekintetében feltehetően nincsen jelentős különbség közöttük. Amennyiben tehát a Legjobb Rendszer nézet egy olyan változatát fogadjuk el, amely megengedi a közelítés bevezetését,[16] úgy az s indeterminisztikus megoldásnak L helyett L' lesz a törvénye, és így s a (B) olvasat alapján nem reprezentál a T elmélet szerint fizikailag lehetséges világot. A meghirdetett kutatási programnak így lehet esélye a sikerre.

Ez a gondolatmenet vázlatos és számos ponton további pontosításra szorul;[17] sikeressége nem ítélhető meg a különböző fizikai elméletek törvényei közötti approximatív kapcsolatok részletes elemzése nélkül. Célunk e tanulmányban nem a vázolt kutatási program véghezvitele vagy védelme, hanem lehetőségének felmutatása. Már a kutatási program sikerének lehetősége is rámutat ugyanis arra, hogy az irodalomban többé-kevésbé ismert, a matematikai eszköztár reprezentációs problémáival összefüggő interpretációs választások mellett a fizikai lehetségesség bevett nézetének alternatív olvasatai közötti választás is szükséges lehet ahhoz, hogy eldönthessük, determinisztikus-e a világ a legjobb fizikai elméleteink szerint.

[16] A Legjobb Rendszer nézet lewis-i megfogalmazása megköveteli a törvényektől, hogy igaz állítások legyenek. Az itt bemutatottól különböző megfontolástól vezéreltetve a Legjobb Rendszer nézet legújabb megfogalmazásai azonban lazítanak ezen a követelményen, és lehetővé teszik, hogy a törvények csak valamilyen közelítéssel legyenek igazak, amennyiben a közelítés bevezetésével az informativitásnak és az egyszerűségnek jobb egyensúlyát érhetjük el. Lásd pl. Cohen and Callender (2009), különösen 24. lábjegyzet.

[17] Részletesebb kifejtésért lásd Gyenis (2013).

Konklúzió

Determinisztikus-e a világ? Hangsúlyoztuk, hogy erre a kérdésre csak közvetve, legjobb fizikai elméleteink elemzésén keresztül tudunk válaszolni. A legjobb fizikai elméleteink elemzésekor azonban azzal a frusztráló helyzettel találjuk szembe magunkat, hogy a különböző elméletek különbözőképpen válaszolják meg ezt a kérdést. Melyik elméletünknek higgyünk?

Bár az elmúlt években született egy kísérlet azonos rendszereket leíró különböző fizikai elméletek válaszainak összehasonlítására[18], a szakirodalmat az a gondolkodásmód határozza meg, mely szerint egy adott fizikai elmélet deteminisztikus voltának eldöntéséhez elegendő az adott elméletet önmagában kifaggatni, függetlenül attól, hogyan viszonyul más fizikai elméletekhez. Ilyen izolált elemzések alapján jutunk arra a precíz, ám a fizikus intuícióval szembeszegülő eredményre, mely szerint a fizikai elméleteink java része, a klasszikus mechanikát is beleértve,[19] nem determinisztikus.

A fent vázolt kutatási program egyik érdekessége, hogy egy adott fizikai elmélet determinisztikusságának is feltételéül szabja különböző fizikai elméletek közötti elméletközi kapcsolatok feltérképezését. Amennyiben ezen elméletközi kapcsolatok a megfelelő formát öntik, úgy a törvények természetéről alkotott alkalmas nézet lehetővé teheti, hogy olyan fizikai elméleteket is determinisztikusnak tartsunk, amelyet az izolált elemzés korábban

[18] Lásd Earman (2009).

[19] A klasszikus newtoni mechanikára - például a billiárd-golyó modellekre - gyakran szokás mint a determinizmus mintaképére gondolni; az intuitív képpel ellentétben azonban a Newton-törvényeknek számtalan nem determinisztikus modellje van. Egy példa: egy végtelen térbeli kiterjedésű newtoni világegyetemben lehetséges elhelyezni öt olyan pontszerű tömeget úgy, hogy ha rájuk csak a newtoni tömegvonzás egyenletei hatnak, akkor véges idő alatt végtelen távolságba kerülnek egymástól, azaz a newtoni világegyetemből véges idő alatt eltűnnek (Xia (1992)). A pontszerű tömegek eltűnését követően üres newtoni világegyetem egy állapota a Newton törvényekkel együttesen tehát nem határozza meg egyértelműen a világ többi (így a tömegeket még tartalmazó múltbeli) állapotát, ezért a determinizmus sérül. Mivel a klasszikus dinamika egyenletei invariánsak az idő irányának megfordítására, ezért az eredmény egyszersmind azt is jelenti, hogy egy üres newtoni világegyetemben bármikor megjelenhetnek a végtelenből érkező pontszerű tömegek, és mivel ennek megtörténtét a korábban üres világ egy állapota a Newton törvényekkel együttesen nem határozza meg, ezért a jövőbeli determinizmus sem teljesül. Ezt és ehhez hasonló példákat az teszi lehetővé, hogy a klasszikus mechanika megengedi a pontszerű részecskék, a végtelen kiterjedésű világegyetem, és a korlátok nélküli sebesség létezését.

nem determinisztikusnak ítélt. Amennyiben élünk az ehhez megkívánt interpretációs választásokkal, úgy a determinizmus fennállása a fizika egészén, és nem csak annak izolált elméletein múlik.

Köszönetnyílvánítás

A cikk alapjául szolgáló Gyenis (2013) disszertációhoz kötődőeken túl szeretnék köszönetet mondani a Magyar Filozófiai Szemle két anonim bírálójának, valamint Kertész Gergelynek és Szabó Gábornak hasznos megjegyzéseikért.

Hivatkozások

Albert, D. Z. (1992). *Quantum Mechanics and Experience*, Harvard University Press, Cambridge, MA and London.

Berndl, K., Dürr, D., Goldstein, S., Peruzzi, G. and Zanghì, N. (1995). On the global existence of bohmian mechanics, *Commun. Math. Phys.* **173**: 647–673.

Callender, C. (2008). What makes time special. Hozzáférhető: `http://www.fqxi.org/community/forum/topic/302`.

Carroll, J. W. (1994). *Laws of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge.

Chisholm, R. M. (1967). You could have done otherwise, *Journal of Philosophy* **64**(13).

Cohen, J. and Callender, C. (2009). A better best system account of lawhood, *Philos. Stud.* **145**: 1–34.

Deville, R. (1999). Smooth variational principles and non-smooth analysis in banach spaces, *in* F. H. Clarke, R. J. Stern and G. Sabidussi (eds), *Nonlinear Analysis, Differential Equations and Control*, Vol. 528 of *NATO Science Series C : Mathematical and Physical Sciences*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 369–405.

Earman, J. (1986). *A Primer on Determinism*, Reidel, Dordrecht.

Earman, J. (2007). Aspects of determinism in modern physics, *in* J. Butterfield and J. Earman (eds), *Handbook of the Philosophy of Science. Philosophy of Physics, Part B*, Elsevier.

Earman, J. (2009). Essential self-adjointness: implications for determinism and the classical–quantum correspondence, *Synthese* **169**: 27–50.

Earman, J. and Roberts, J. (2005a). Contact with the nomic: A challenge for deniers of humean supervenience about laws of nature (part i), *Philosophy and Phenomenologial Research* **71**: 1–22.

Earman, J. and Roberts, J. (2005b). Contact with the nomic: A challenge for deniers of humean supervenience about laws of nature (part ii), *Philosophy and Phenomenological Research* **71**: 253–286.

Evans, L. C. (1998). *Partial Differential Equations*, American Mathematical Society, Providence.

Fattorini, H. O. (1983). *The Cauchy Problem*, Cambridge University Press, Cambridge.

Geroch, R. (2008). Partial differential equations of physics. Hozzáférhető: `http://arXiv.org/abs/gr-qc/9602055v1`.

Gyenis, B. (2013). Well posedness and physical possibility. Ph.D. disszertáció, Department of History and Philosophy of Science, University of Pittsburgh.

Kripke, S. (1959). A completeness theorem in modal logic, *Journal of Symbolic Logic* **24**: 1–15.

Laplace, P. S. (1820). *Théorie analytique des probabilités*, V. Courcier, Paris.

Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*, Harvard University Press, Cambridge.

Lewis, D. (1983). New work for a theory of universals, *Australasian Journal of Philosophy* **61**: 343–377.

Lewis, D. (1986). *Philosophical Papers*, Vol. II, Oxford University Press, New York.

Lewis, D. (1994). Humean supervenience debugged, *Mind* **103**: 473–490.

Loewer, B. (1996). Humean supervenience, *Philosophical Topics* **24**: 101–126.

Maudlin, T. (2007). *The Metaphysics Within Physics*, Oxford University Press, New York.

Mill, J. (1947). *A System of Logic*, Longmans, Green and Co., London.

Norton, J. (1999). A quantum mechanical supertask, *Foundations of Physics* **29**: 1265–1302.

Norton, J. (2003). Causation as folk science, *Philosophers' Imprint*, Vol. 3.

R. Bradley, N. S. (1979). *Possible Worlds: An Introduction to Logic and its Philosophy*, Hackett Publishing Company, Indianapolis.

Ramsey, F. (1978). *Foundations*, Routledge and Kegan Paul, London.

Szabó, L. E. (2002). *A nyitott jövő problémája: véletlen, kauzalitás és determinizmus a fizikában*, Typotex, Budapest.

Witmer, D. G. (2001). Sufficiency claims and physicalism, *in* C. Gillett and B. Loewer (eds), *Physicalism and its discontents*, Cambridge University Press, Cambridge.

Xia, X. (1992). Existence of noncollision singularities in the n-body problem, *Annals of Mathematics* **135**: 411–468.

Yagisawa, T. (2009). Possible objects, *in* E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, winter 2009 edn.