E. Szabó László

Fizikalizmus és a Quine–Putnam-féle nélkülözhetetlenségi argumentum*

A Quine–Putnam-féle nélkülözhetetlenségi argumentumot a legerősebb érvnek szokás tekinteni a matematikai platonizmus mellett. Nyilvánvaló, hogy ha az érv helyes, akkor a fizikalizmus ontológiai doktrínája téves. A cikkben röviden vázoljuk, hogyan lehetséges a logikai és matematikai tények alapvető természetét a fizikalizmus ontológiájával összhangban értelmezni. Megvizsgáljuk, hogy mi egy fizikai elmélet, és hogyan referál az elmélet a fizikai világ elemeire. Mindezek alapján megfogalmazzuk, mi lehet a Quine–Putnam-argumentumra adott fizikalista válasz.

1. A Quine–Putnam-féle nélkülözhetetlenségi argumentum

Széles körben elterjedt nézet, hogy az úgynevezett Quine–Putnam-féle nélkülözhetetlenségi argumentum (e.g. Putnam 2010, Quine 1980) a legerősebb érv a matematikai platonizmus mellett. Az érv, a ma szokásos megfogalmazásában a következő (Colivan 2004):

1. Azon és csak azon entitások mellett kell ontológiailag elköteleződnünk, melyek nélkülözhetetlenek a legjobb tudományos elméleteinkben.
2. A matematikai entitások nélkülözhetetlenek a legjobb tudományos elméleteinkben.
3. Ontológiailag el kell köteleződnünk a matematikai entitások mellett.

Mármost nyilvánvaló, hogy ha az érv helyes, akkor a fizikalizmus ontológiai doktrínája téves.

* Készült az NKFIH támogatásával (No. K134275)

2. HARTRY FIELD NOMINALIZÁCIÓS PROJEKTJE

A Quine–Putnam-argumentum ellen felhozott leghatékonyabb ellenérvet Hartry Field fejtette ki az 1980-ban megjelent *Science Without Numbers: A Defense of Nominalism* c. könyvében. Field azt kívánta megmutatni, hogy az argumentum második premisszája hamis, vagyis, hogy a matematikai entitások nem nélkülözhetetlenek a legjobb tudományos elméleteinkben. Nevezetesen azt mutatta meg egy egyszerű fizikai elmélet esetében (az egyszerűség kedvéért az alábbiakban csak fizikai elméletekről lesz szó), hogy a legalapvetőbb matematikai entitások, a számok, kiküszöbölhetőek a fizikai elmélet megfogalmazásából, méghozzá úgy, hogy az újrafogalmazott, úgynevezett „nominalizált" elmélet nem kevésbé attraktív, mint az eredeti. Nem kívánok itt kitérni arra, hogy mit szokás pontosan attraktivitás alatt érteni, és hogy ennek lenne-e bármilyen jelentősége.

Mondanivalóm szempontjából az sem igazán lényeges, hogy Field valójában nem egy fizikai elméleten mutatja be a nominalizáció lehetőségét. Példájában a „fizikai" elmélet szerepét a három dimenziós euklideszi tér valós számokat használó koordinátageometriai megfogalmazása játssza, míg az elmélet nominalizált változata a három dimenziós euklideszi geometria Tarski-féle axiomatikus elmélete, amely kizárólag a pontokra és a köztük fennálló két relációra referál, és nem szükségesek a valós számok. A nominalizált elmélet és az eredeti elmélet ekvivalenciáját természetesen Hilbert ismert reprezentációs tétele garantálja. Vagyis nincs szó fizikai elméletről, csupán két matematikai struktúra viszonyáról. Mint Szabó Máté (2010) részletesen megmutatta, ez a kategóriahiba a Field által szándékolt, Tarski-féle axiomatikus elméletre épülő példában is helyrehozható – mindenekelőtt a matematikának és a fizikának körültekintőbb demarkációja mellett.

Elszakadva Hartry Field konkrét példájától, a Field-féle nominalizáció lényegét a következő egyszerű példán szeretném bemutatni. Tekintsünk egy fizikai elméletet, amelyben szó van két fizikai tulajdonságról, a hőmérsékletről és a tömegről. Ezeket a fizika pozitív valós számokként írja le. Hagyományosan ez úgy van elgondolva, hogy a fizikus megtanulja a szükséges matematikát az iskolában, majd a fizikában ezt alkalmazza. Logikailag ezt úgy szokás érteni, hogy van a matematikában a pozitív valós számok axiomatikus elmélete, melynek nyelve nyilvánvalóan *pozitív valós számok* felett kvantifikál, *Matematika*

$\forall x_1, x_2, x_3 \in$ {pozitív valós számok}:

1. $x_1 < x_2 \rightarrow \neg x_2 < x_1$
2. $x_1 < x_3 \rightarrow \exists x_2 (x_1 < x_2 \wedge x_2 < x_3)$

$\vdots$

(ezt tanulja a fizikus az iskolában), a fizikai elmélet pedig ennek egy konzervatív kiterjesztése, melynek nyelve olyan új terminusokat is tartalmaz, mint *hőmérséklet* és *tömeg*. Vagyis a fizikai elmélet ebben az értelemben két részből áll, egy hallgatólagosan odagondolt matematikai és a fizikus által hozzátett fizikai részből:

Matematika

$\forall x_1, x_2, x_3 \in$ {pozitív valós számok}:

1. $x_1 < x_2 \rightarrow \neg x_2 < x_1$
2. $x_1 < x_3 \rightarrow \exists x_2 (x_1 < x_2 \wedge x_2 < x_3)$

$\vdots$

Fizika

- minden hőmérséklet egy pozitív valós szám
- minden tömeg egy pozitív valós szám

$\vdots$

A Quine–Putnam-argumentum egyik fontos eleme, hogy egy ilyen fizikai elmélet nyelve egyaránt kvantifikál a *pozitív valós számok* és fizikai terminusok, a *hőmérséklet* és a *tömeg* felett.

A Field-féle nominalizáció azt jelenti, hogy ezt az elméletet átfogalmazzuk úgy, hogy elhagyjuk belőle a matematikai részt, helyette viszont a *hőmérsékletekre* illetve a *tömegekre* írunk elő megfelelő axiómákat:

Fizika

$\forall T_1, T_2, T_3 \in$ {hőmérsékletek}:

1. $T_1 < T_2 \rightarrow \neg T_2 < T_1$
2. $T_1 < T_3 \rightarrow \exists T_2 (T_1 < T_2 \wedge T_2 < T_3)$

$\vdots$

$$\forall m_1, m_2, m_3 \in \{\text{tömegek}\}:$$

1. $m_1 < m_2 \rightarrow \neg m_2 < m_1$
2. $m_1 < m_3 \rightarrow \exists m_2 (m_1 < m_2 \land m_2 < m_3)$

$\vdots$

Vagyis nem azt mondjuk ki, hogy a hőmérséklet egy pozitív valós szám, hanem kimondjuk a pozitív valós számok axiómáit a hőmérsékletekre vonatkozóan, és ugyanezt tesszük a tömegre vonatkozóan is. Ezzel semmi sem változik, de az elmélet nyelve nem fog kvantifikálni *pozitív valós számok* felett. (Tegyük hozzá, hogy logikai értelemben annak, hogy „a hőmérséklet egy pozitív valós szám" nem is lehet semmi más értelme, mint, hogy a hőmérsékletekre nézve elismételjük a pozitív valós számokra kimondott axiómákat – vagy legalábbis azokkal ekvivalens axiómákat.)

Megkönnyebbülést jelent-e a Field-féle nominalizáció a fizikalizmus számára? Nyilvánvalóan nem. Ugyan szó szerinti értelemben kiküszöböltük a fizikai elméletből azt a terminust, hogy *pozitív valós szám*, de formális matematikai értelemben ugyanazt a matematikai struktúrát benne hagytuk, csak más szavakat, más szimbólumokat használunk. Hartry Field a könyv 2016-os második kiadásának[1] előszavában idézi azt a levelet, melyben Quine a könyvre adott első reflexióit fogalmazta meg. Quine egyik kritikai megjegyzése is hasonló volt:

> Abban az értelemben, ahogyan én az ontológiát értem, a logika kiterjesztése nem jelenti az ontológia redukálását, csupán a téma elterelését: hátat fordítunk az általam felvetett ontológiai kérdésnek, mindaddig, amíg úgy nem döntünk, hogy mindent visszafordítunk a standard nyelvre. Tény marad azonban, hogy az így értelmezett ontológia csak egy a rokon fogalmak potenciális családjából, amelyek nem kevésbé érdemlik meg ugyanazt a nevet valamely megkülönböztető jelzővel kiegészítve. (Field 2016, P-56)

Mindenesetre, ha el is fogadjuk, hogy Field nominalizációjával kivédtük a Quine–Putnam-féle argumentumot az úgynevezett „plain Platonism" értelemben, megmaradt annak lehetősége, hogy az argumentumot a strukturalista platonizmus (Shapiro 1997) melletti érvként fogjuk fel. Ebből a szempontból természetesen mindegy, hogy egy axiomatikusan értelmezett szám-struktúra vagy a Tarski-axiómákkal értelmezett geometriai struktúra melletti platonista elköteleződésről van szó (lásd M. Szabó 2010).

[1] Köszönöm Szabó Máténak, hogy felhívta a figyelmemet erre az új kiadásra.

3. A QUINE–PUTNAM-ARGUMENTUMRA ADOTT TELJES KÖRŰ FIZIKALISTA VÁLASZ

A Quine–Putnam-argumentumra adható igazi fizikalista válasz kifejtéséhez tágabb kontextusra lesz szükségünk. Nevezetesen a következő kérdésekre kell választ adnunk a fizikalista ontológia keretei között:

1. Mik azok a logikai és matematikai tények?
2. Hogyan lehet ezeket a tényeket a fizikalista ontológiában elhelyezni?
3. Mi egy fizikai elmélet, és hogyan referál a fizikai világ elemeire?

És végül,

4. Mi az, ami tulajdonképpen nélkülözhetetlen a fizikai elméletekben, és mi annak az ontológiája?

Az első három kérdésre adható fizikalista válaszokat már korábbi cikkeimben kidolgoztam (L.E. Szabó 2003; 2012; 2017; 2020a; 2020b; 2021). Hosszabb argumentációk nélkül, itt most csak azokat a főbb téziseket foglalom össze, melyek a negyedik kérdés megválaszolásához szükségesek.

3.1 Mik azok a logikai és matematikai tények?

A szemantika fogalmáról az alábbi 3.3. bekezdésben kifejtettek alapján nyilvánvaló, hogy lehetetlen azt állítani, hogy egy *L* formális rendszer elemei valamely *U* ontológiai szféra tényállásaira referálnak, az *U* ontológiai szféra melletti ontológiai elköteleződés nélkül. Más szóval nincs ingyen, ontológiai elköteleződés nélküli szemantika, legalábbis nincs a jelentés értelmezésének a tudományos elméletek szemantikája szempontjából releváns *referenciális* vagy *model-elméleti* tradíciója (Lewis 1970) szerint. (Sőt, ahhoz, hogy a jelentéshordozásra vonatkozó állítás helyes legyen, több kell az elköteleződésnél, ahhoz *U*-nak valóban léteznie is kell.) Például valaki azt állítja, hogy az aritmetika a számokról szól, azokról helyes állításokat mond, akkor elkerülhetetlen, hogy a számok létezése mellett ontológiailag elköteleződjön. (Vannak irányzatok, mint a matematikai fikcionalizmus vagy az úgynevezett „if–then”-izmus, melyek megpróbálják a matematikai állítások platonista szemantikáját fenntartani a platonista ontológia tagadása mellett. Ezek tarthatatlanságáról lásd: L.E. Szabó 2021.)

Figyelembe véve a fizikalista ontológiai alapfeltevést, mindebből tehát az következik, hogy két lehetőség van:

1. Egy formális rendszer elemei semmiféle jelentéssel nincsenek felruházva, vagy,
2. ha igen, akkor a fizikai világ elemeire referálnak valamely fizikai elmélet keretében.

A második esettel foglalkozunk a 3.3 bekezdésben. Most az első esetre koncentrálunk, vagyis a „tiszta matematika” esetére.

Mi akkor a matematika tárgya? Mik azok a tények, amelyeket a matematika vizsgál? A fentiek értelmében erre az egyetlen, a fizikalizmussal összeegyeztethető válasz a formalista matematikafilozófia válasza (e.g. Curry 1951; Weir 2015). Röviden, ahogy Curry fogalmaz, a matematika a formális rendszerek tudománya. A matematikai állítások magukról a formális rendszerekről szóló állítások. Tipikusan olyan alakúak, mint „$\Sigma_L \vdash A$”, ahol Σ_L a szóban forgó L formális rendszer axiómáit jelöli, A a rendszer egy jól képzett formulája, $\vdash$ pedig a szintaktikai következmény reláció (single turnstile). Ezek közönséges, jelentéssel bíró állítások, melyek igazak vagy hamisak tudnak lenni. A formalista matematikafilozófia megértéséhez fontos hangsúlyoznunk, hogy sem a Σ_L-ba tartozó axiómák, sem pedig az A tétel nem „állítások”, amelyek igazak vagy hamisak lehetnének. Ezek csupán jelentés nélküli jelsorozatok, mint ahogyan a $\vdash$ reláció sem fejez ki semmiféle „helyes következtetést” vagy ilyesmit, csupán a formális rendszer azon tényének jelölésére szolgál, hogy a jól képzett formulák Σ_L rendszeréből az A jól képzett formula levezethető, vagyis, hogy létezik jól képzett formuláknak egy olyan véges sorozata, amelyre az igaz, hogy minden eleme vagy axióma (vagyis benne van Σ_L-ban), vagy a sorozat korábbi elemeivel beilleszthető a következtetési szabályoknak nevezett sablonok valamelyikének (például a *modus ponens*) mintázatába, és a sorozat utolsó eleme A. Tegyük hozzá, hogy ugyanígy nincs semmiféle jelentése a logikai jeleknek ($\neg$, $\rightarrow$, $\wedge$, $\vee$, $\exists$, $\forall$) és a logikai axiómáknak sem, valamint, hogy formalista szempontból a formális rendszerek „logikai” része semmiféle kitüntetettséget nem élvez a többi részéhez képest.

3.2 Hogyan lehet ezeket a tényeket a fizikalista ontológiában elhelyezni?

Ha tehát a matematika a formális rendszerek tudománya, és a matematika állításai formális rendszerek*ről* szóló állítások, akkor a formalista matematikafilozófiának el kell köteleződnie a formális rendszerek létezése mellett. Milyen fajta ontológiai entitás azonban egy formális rendszer? A formalista matematikafilozófiai irodalomban erre a kérdésre vagy nem kapunk választ, vagy olyan válaszokat kapunk, amelyek platonista elemeket tartalmaznak, tehát nem összeegyeztethetőek a fizikalizmussal.

Egy dolog biztos: ha a fizikalizmus doktrínája igaz, és a formális rendszerek létező entitások, akkor benne kell lenniük a fizikai világban. Egész pontosan:

Fiziko-formalista tézis: A formális rendszert olyan fizikai rendszernek kell tekinteni, amely konkrét fizikai tárgyakban, konkrét fizikai konfigurációkban és konkrét fizikai folyamatokban megtestesülő jelekből és levezetési mechanizmusokból/mintázatokból áll (L.E. Szabó 2017).

Ez a fizikai megtestesülés a legkülönfélébb lehet; tinta-konfigurációk egy papíron, egy agy neurális konfigurációi és folyamatai, elektronikus konfigurációk és folyamatok egy számítógépben stb., vagy ezek különböző kombinációi. Mint a fent hivatkozott cikkekben több helyen részletesen érveltem (e.g. L.E. Szabó 2012), ezek a konkrét, hús-vér formális rendszerek, még ha lehetnek is köztük olyanok, amelyek tényei között hasonlóságok – vagyis valamilyen regularitások – állnak fenn, semmiképp nem tekintendők valamifajta absztrakt „matematikai" formális rendszer fizikai reprezentációinak. Ugyanis nem létezik semmi olyan dolog, ami reprezentálva lenne. Két konkrét, fizikailag létező formális rendszer hasonlósága semmiben nem különbözik bármely más kontingens fizikai létező, mondjuk két vízmolekula hasonlóságától. Két vízmolekula sok közös tulajdonsággal rendelkezhet, anélkül, hogy létezne egy „absztrakt vízmolekula", amelynek ők a „fizikai reprezentációi". Csak a hús-vér vízmolekulák léteznek. Természetesen, két vízmolekula hasonlóságáról számot adhat egy erre alkalmas fizikai elmélet, ez a tény azonban, mint látni fogjuk, nem vonja maga után bármiféle nem-fizikai entitás létezését.

3.3 Mi egy fizikai elmélet, és hogyan referál a fizikai világ elemeire?

Carnapot (1939) követve, egy fizikai elmélet egy parciálisan interpretált formális rendszer. Szimbolikusan, (L, S, U), ahol L a szóban forgó formális rendszer, U a fizikai világnak az a része, amelyet az elmélet leír, S pedig az elmélet szemantikáját szimbolizálja, amelyet a következőképpen értelmezünk.

(A) Legyen adva az U világ tényállásainak (lehetőség szerint nagy) $\{a_\lambda\}_\lambda$ családja és az L formális rendszer jól képzett formuláinak ugyanúgy paraméterezett $\{A_\lambda\}_\lambda$ családja, úgy, hogy minden λ-ra vagy $\Sigma_L \vdash A_\lambda$ vagy $\Sigma_L \vdash \neg A_\lambda$, valamint

(B) minden λ-ra, azaz minden összetartozó a_λ és A_λ párra teljesüljön, hogy a_λ egy olyan tényállás, amely fennáll U-ban, akkor és csak akkor, ha a neki megfeleltetett A_λ olyan, hogy $\Sigma_L \vdash \neg A_\lambda$.

Ilyenkor azt mondjuk (és csak ilyenkor mondhatjuk azt), hogy az L formális rendszer A_λ formulája jelentést hordoz, és az U világ a_λ tényállására referál.

Ez a Gödeltől átvett (lásd L.E. Szabó 2017; 2021) szemantikai konstrukció tökéletesen megfelel a szemantika referenciális/model-elméleti hagyományának, és pontosan fejezi ki a fizikai elméletek szemantikájának intuitív fogalmát.

Elfogadva a szemantika fenti értelmezését, azonnal olyan megfigyeléseket tehetünk, amelyeknek messzemenő következményei vannak. Ezek közül röviden négyet emelek ki:

1. A definíció (B) pontja pontosan azt mondja, hogy „a valóságban minden úgy van, ahogyan az elmélet állítja”, vagyis, hogy a szóban forgó *(L, S, U)* elmélet helyes. Más szóval, hogy a jelentés és az igazság fogalma szétválaszthatatlanul összefonódik.
2. Mindez azonban az elmélet egészének a szintjén van így. Egyáltalán, a konstrukcióból azonnal adódik, hogy a jelentés, és ezzel együtt az igazság, egy holisztikus fogalom. Nem lehet egyetlen izolált A_λ formula jelentéséről és igazságáról/hamisságáról beszélni, mert értelmetlen.
3. Nem csak az a_λ tényállások, hanem – a fiziko-formalista matematikafilozófia értelmében – a (B) pontban szereplő $\Sigma_L \vdash A_\lambda$ tényállások is a fizikai világ tényállásai. Ez azt jelenti, hogy a (B) pont követelménye szerint egy korrelációnak kell fennállnia a fizikai világ két része, az elmélet által leírt *U* világrész és az *L* formális rendszer mint fizikai rendszer között. Kombinálva ezt azzal a megfigyeléssel, melyet Reichenbach-féle közösok-elvnek nevezünk (e.g. E. Szabó *et al.* 2010), hogy tudniillik nincs a világban korreláció anélkül, hogy ne lenne egy mögöttes kauzális fizikai folyamat, ami a szóban forgó korrelációt létrehozza, arra a következtetésre kell jutunk, hogy nem létezhet fizikai elmélet, nem valósulhat meg jelentéshordozás, nem lehetséges a világról szóló tudás egy a világban végbemenő kauzális fizikai folyamat nélkül, amelyik a (B) pontban megkívánt korrelációt létrehozza. Az elméletben használt *L* formális rendszer egy kontingens létező, egy az ember által létrehozott és folyamatosan módosított fizikai tárgy; részese az elmélet kialakulásához szükséges fent említett kauzális folyamatnak. Kis átgondolással belátható, hogy ez a kauzális folyamat nem más, mint amit tapasztalásnak, a tapasztalatból történő tanulásnak szoktunk nevezni.
4. Az elmélet létrejöttéhez vezető kauzális folyamatot számos kauzális faktor befolyásolhatja, ezért általában nem feltételezhető, hogy az elmélet tárgyát alkotó *U* világrész (akár temporálisan kiterjed értelemben véve is) egyértelműen meghatározná a kialakult elméletet. Tehát lehetséges, hogy ugyanaz az *U* különböző *(L, S, U)*, *(L', S', U)*, *(L'', S'', U)*, ... elméletekkel leírható legyen.

Mindezek tükrében most már világosabban megfogalmazhatjuk, hogy mi a probléma a Field-féle nominalizációval. Egy *(L, S, U)* elmélet nominalizált változata, mondjuk *(L', S', U)*, ugyanolyan normális fizikai elmélet, mint az eredeti *(L, S, U)*. A benne szereplő *L'* formális rendszer egy ugyanolyan, jelentés nélküli formális rendszer, mint *L*. Teljesen mindegy, hogy „fizikai" vagy „matematikai" szavakat/jeleket használunk benne. Önmagában sem *L*, sem *L'* nem referál semmire; sem matematikai, sem fizikai entitásokra. Ugyanakkor, minthogy a matematika a formális rendszerek tudománya, az *L'* formális rendszer tényei ugyanolyan matematikai tények, mint az *L* formális rendszer tényei. A Field-féle eljárással tehát a fizikai elméleteinkből semmit sem küszöbölünk ki a matematikából. Mindez azonban nem jelenti azt, hogy a Quine–Putnam-féle nélkülözhetetlenségi argumentum egy érvényes argumentum lenne a fizikalizmussal szemben.

4. MI AZ, AMI TULAJDONKÉPPEN NÉLKÜLÖZHETETLEN A FIZIKAI ELMÉLETEKBEN, ÉS MI ANNAK AZ ONTOLÓGIÁJA?

Amik logikai és matematikai értelemben nélkülözhetetlenek egy *(L, S, U)* fizikai elméletből, azok az *L* formális rendszer tényei. Vagyis egy fizikai létezőnek a fizikai tényei.

Mindent számba véve, egy *(L, S, U)* fizikai elmélet létezése 1) az elmélet tárgyát alkotó *U* világ, 2) a hús-vér *L* formális rendszer, és 3) az *S* szemantikában megkövetelt korrelációt létrehozó kauzális folyamat mellet történő ontológiai elköteleződést vonja maga után. Ezek a dolgok pedig mind benne vannak a fizikai világban.

5. METAFILOZÓFIAI KERET

A fenti gondolatmenet elliptikus abban az értelemben, hogy támaszkodik a 3. bekezdésben hivatkozott korábbi írásaimban kifejtett argumentumok néhány konklúziójára. Ez azt sugallhatja, hogy a Quine–Putnam-argumentum elleni fenti érvelésben mind a fizikalista ontológiai álláspontot általában, mind az említett írásokban kifejtett fiziko-formalista matematikafelfogást reflexió nélküli előfeltevésnek kell tekintenünk. Elkerülendő ezt a félreértést, érdemes az érvelésem teljes, vagyis az itt nem részletezett, csak hivatkozott argumentumokkal együtt vett szerkezetét összefoglalnom.

Az egyetlen, ha tetszik, reflektálatlan előfeltevésem a Gödel reprezentációfogalmából kiolvasott szemantikai konstrukció, melyet a 3.3. bekezdésben adtam meg. E mellett a szemantika-értelmezés mellett az az egyetlen felhozható érv, hogy nincs alternatívája: a jelentésről szóló évszázados irodalom egyetlen más kézzelfogható definíciót sem nyújtott arra vonatkozóan, hogy mit jelent egy formális rendszer egyébként jelentés nélküli formuláit jelentéssel felruházni.

A Quine–Putnam-argumentum szerint az a tény, hogy a logika és a matematika nélkülözhetetlen a fizikai elméleteinkben, maga után vonja absztrakt entitások létezését; vagyis, hogy a fizikalista ontológiai doktrína, mely szerint csak fizikai entitások léteznek, hamis. A fentiekben azt mutattam meg, hogy ez az argumentum mint a fizikalizmus elleni érv téves. Ugyanis, ha *feltesszük*, hogy a fizikalista ontológiai tézis igaz, akkor – a szemantika általunk elfogadott fogalma mellett – szükségszerűen jutunk olyan konklúziókra, mint amit én fiziko-formalista matematikafilozófiának nevezek, valamint azokra megállapításokra, amelyeket a fizikai elméletek szemantikájára és igazságára vonatkozóan a 3.3. bekezdésben tettünk. Mindezek ontológiai implikációiból pedig azt látjuk, hogy az a tény, hogy a logika és a matematika nélkülözhetetlen a fizikai elméleteinkben, csak fizikai entitások létezését implikálja.

IRODALOM

Carnap, Rudolf 1939. Theories as Partially Interpreted Formal Systems. In uő. *Foundations of Logic and Mathematics*. Chicago, University of Chicago Press.

Colyvan, Mark 2004. Indispensability Arguments in the Philosophy of Mathematics. In Edward N. Zalta (szerk.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2004 Edition).

Curry, Haskell B. 1951. *Outlines of a Formalist Philosophy of Mathematics*. Amsterdam, North-Holland.

Field, Hartrey 2016. *Science Without Numbers: A Defense of Nominalism*. Second Edition, Oxford, Blackwell.

Lewis, David 1970. General Semantics. *Synthese*. 22. 18–67.

Putnam, H. 2010. *Philosophy of Logic*. Routledge, Abingdon, Oxfordshire.

Quine, W. V. 1980. On What There Is. In uő. *From a Logical Point of View*. Cambridge MA, Harvard University Press.

Shapiro, S. 1997. *Philosophy of Mathematics: Structure and Ontolog*y. Oxford, Oxford University Press.

Szabó L., E., Gyenis B., Gyenis Z., Rédei M., Szabó G. 2010. Korrelációk kauzális magyarázata, *Magyar Filozófiai Szemle*. 54. 78–97.

Szabó László E. 2003. Formal Systems as Physical Objects: A Physicalist Account of Mathematical Truth. *International Studies in the Philosophy of Science*. 17. 117–125.

Szabó László E. 2012. Mathematical Facts in a Physicalist Ontology. *Parallel Processing Letters*. 22. 1240009.

Szabó László E. 2017. Meaning, Truth, and Physics. In Gábor Hofer-Szabó – Leszek Wronski (szerk.) *Making it Formally Explicit*. (European Studies in Philosophy of Science 6). Berlin, Springer International Publishing.

Szabó László E. 2020a. Intrinsic, Extrinsic, and the Constitutive *a Priori*. *Foundations of Physics*. 50. 555–567.

Szabó László E. 2020b. A végtelen idóluma. *Magyar Tudomány*. 181/11. 1509–1522.

Szabó László E. 2021. Physicalism without the Idols of Mathematics. http://philsci-archive.pitt.edu/18901. [Preprint]

Szabó, M. 2010. On Field's nominalization of physical theories, *Magyar Filozófiai Szemle*. 54. 231–239.

Weir, Alan 2015. Formalism in the Philosophy of Mathematics. In Edward N. Zalta (szerk.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2015 Edition). URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/formalism-mathematics/>.