

A FIZIKUSOK TOVATÚNÓ SZENT GRÁLJA: A »VILÁGKÉPLET«

Balázs Béla Árpád
ELTE, Csillagászati Tanszék

Az ókori kultúrnépek világképe geocentrikus volt. A babilóniaiak, egyiptomiak, kínaiak, indiaiak, maják mind úgy gondolták, hogy Földünk helyezkedik el a világ középpontjában. A szamoszi *Arisztarkhosz* (i. e. 310–230) volt az első, aki geometriai megfontolások alapján rájött arra, hogy a Nap sokkal nagyobb a Földnél, és életet adó csillagunkat tette az Univerzum középpontjába. Rájött arra is, hogy bár bolygónk a Nap körül kering, a csillagok szükségszerű parallaxikus elmozdulása azok nagy távolsága miatt szabad szemmel nem észlelhető. A geocentrikus nézeteket valló *Platón* és *Arisztotelész* tekintélye azonban túl nagy volt ahhoz, hogy Arisztarkhosz felismerését elfogadják. A zseniális tudós saját korában csak kevés követőre talált, és „eretnek” nézetei miatt még üldözötteknek is ki volt téve.

Tizennyolc évszázaddal később közel hasonló sors várt volna *Nicolaus Copernicus* (1473–1543) lengyel kanonokra, aki *Kommentár az égítestek elrendezéséről és mozgásairól szóló elméletekhez* című korszakalkotó művét csak élete végén publikálta, hiszen heliocentrikus rendszere még abban az időben is eretnekiségnek számított!

Bolygónk (és ezzel az emberiség kitüntetett helyének) „detronizálása” azután – kisebb-nagyobb visszalépésekkel – tovább folytatódott. Kiderült, hogy Napunk csak a Tejútrendszer szerény csillaga, hogy ez a rendszer csak galaxisok milliárdjainak egyike, és talán Univerzumunk sem egyedüli, hanem egy mindent felölelő Multiverzum (másként Megaverzum) egyszerű része.

Az antropikus elv

Ismeretes, hogy a Föld kozmikus helyének kitüntettségét tagadó *kopernikuszi elv* túlhajtásával szembeni reakcióként vezette be a múlt század hetvenes éveinek elején *Brandon Carter* az *antropikus elvet*, amely

- erős formájában azt mondja ki, hogy „az Univerzumnak egy bizonyos stádiumban alkalmasnak kell lennie megfigyelők kialakulására”;

- gyenge változata viszont pusztán a következőt deklarálja: „figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy az Univerzumban elfoglalt helyünk szükségképpen kitüntetett abból a szempontból, hogy összeegyeztethetőnek kell lennie megfigyelőként való létezésünkkel”.

Jelenlegi ismereteink szerint azonban a környezetünkben tapasztalt természeti törvények és állandók érvényesek az egész Univerzumban. Úgy tűnik továbbá, hogy, ráadásul, nagyon finoman ráhangoltak az élet fenntartására, és számos mérvadó szerző úgy tekinti ezt a finomhangolást, mint amit meg kell magyarázni, mert nem magától értetődő. Jelenlegi legjobb fizikai elméleteinkben és a kozmológiai Ősrobbanás forgatókönyvé-

ben számos (legalább 34) szabad paraméter van, és az ember nem jöhetett volna létre olyan univerzumban, amelyikben az alapvető állandók vagy paraméterek egyike vagy másika megváltozott volna akár csak igen minimális mértékben is egyik vagy másik irányban. (Például vegyük az elektron/proton töltésgyenlőséget. Bármely töltéskiegyenlítőtlenség a világon levő összes tárgyat – saját testünk, sziklák, bolygók, csillagok stb. – azonnali szétrobbanásra kényszerítene. Az egyensúlynak rendkívül pontosnak kell lennie. Már akkor is szertepülnénk, ha a két töltés oly kevéssel különbözne, mint egy százbilliomod rész!)

A finomhangoltsághoz kapcsolódó antropikus kérdést *L. Smolin* a következőképpen fogalmazta meg: Miért esnek a részecskefizika és kozmológia standard modelljeinek paraméterei a paraméterter azon parányi tartományába, ahol lehetővé válik a csillagok keletkezése, és a szerves kémia? Sorra véve a legismertebb idevágó érveket, az Univerzum életbarát módon finomhangolt:

- mivel természetfölötti, magasabb rendű értelem célszerűen tervezte (kozmológiai tervezés elmélete);
- egyszerű véletlen következtében, amit nem kell és nem is lehet megmagyarázni;
- egyszerű véletlen következtében, ugyanis a különböző univerzumok Multiverzumában a paraméterek, törvények összes lehetséges halmaza realizálódik, és nekünk éppen a mi életformánkra hangolt univerzumban kell élnünk, hiszen egyébként nem létezhetnénk, és nem tehetnénk fel a vonatkozó kérdéseket (→ gyenge antropikus elv);
- mivel egyébként nem létezhetnénk és vizsgálódhatnánk (→ erős antropikus elv);
- mivel a rövidesen rendelkezésünkre álló „világformula” (Theory of Everything, ToE) az észlelt törvényeket és paramétereket írja elő. Ezek tehát szükségszerűek, és finomhangoltságról nem is beszélhetünk;
- mivel a tapasztalt törvények és paraméterek egy önszervező folyamat, a kozmológiai természetes kiválasztódás eredményei.

A következőkben az utolsó előtti megoldással foglalkozunk.

A mindent átfogó, végső fizikai elmélet: a „világformula”

A posztnewtoni elméleti fizika (asztronómiára, kísérleti fizikára és matematikára alapozott) útja, az elektrosztatikától – az általános relativitáselméleten és a kvantumelméleten keresztül – egészen a gravitáción kívül minden kölcsönhatást magában foglaló Nagy egyesített elméletig (GUT), igazi diadalmenetnek nevezhető (1. ábra).

Tulajdonképpen érthető, hogy a fizikai tudásunkon alapuló mega-, makro-, humán-méretű, mikro- és nanocsodák elismerést, ámulatot vagy éppen félelmet keltő sokasága elbizakodottságot is szül. A fizika matematikai alapjainak kellően átgondolt figyelembevétel nélkül megindult a végső

„világformula” utáni kutatás. Pedig ha elkészül(het)ne, nemcsak logikailag kellene ellentmondásmentesnek, univerzálisnak és unikálisnak lennie, hanem egyúttal minden fundamentális dologra (pl. finomhangoltság) végső magyarázattal szolgálnia. Az elméleti fizika akkor már nem lenne természettudomány, hanem a deduktív logika ága. Minden axiómákból lenne levezethető.

A ToE megalkotását célzó első figyelemre méltó kísérletnek a Kaluza–Klein-elméletet vehetjük, amely képes volt az elektromágneses kölcsönhatás és a gravitáció egységes leírására. Sajnos, akkor még mind a gyenge, mind az erős kölcsönhatás ismeretlen volt, így nem szerepelhetett Kleinék munkájában.

Az 1950-es években Werner Heisenberg próbálkozott, sikertelenül, a világformula megalkotásával. Albert Einsteint élete végéig foglalkoztatta a „végső” lépés megtétele, de az neki sem sikerült. Napjainkban elsősorban a szuperhúrelmélet, a Hawking-féle M-teória és a kvantumgravitáció szolgál kiindulási forrásként, de még a témakörön dolgozók (a hívők) szerint is igen lényeges problémák várnak megoldásra.

A világformula – megalkotásának tartós sikertelensége ellenére is – a médiában az általános relativitás-elmélethez hasonló szerepet játszik. Friedrich Dürrenmatt *Fizikusok* című drámájában a végső képletet J.W. Möbius fizikus alkotja meg. Mindenesetre jól el is dugja, mivel úgy véli, hogy annak ismerete az emberiség számára igen veszélyes lenne. Darren Aronofsky *Pi* című filmjében M. Cohen matematikus jut el a világképletig, de az sok bajt hoz rá, mivel kiderül, hogy segítségével a jövő megjósolható. A végső fizikai formula, a „világképlet” tehát a köztudatot is foglalkoztatja.

Mi a sikertelenség igazi oka?

Egyértelműen nem az elméleti fizikusok „ügyetlensége”. Az ok mélyen matematikai. Stanley Jaki (Jáki Szaniszló) 2004-ben lapunkban megjelent cikke, valamint vonatkozó (1966-ban és azóta megjelent) angol nyelvű munkái után talán nem is fogok hozzá e sorok írásához, ha kezembe nem kerül Solomon Fefermannak, a rangos princetoni Institute for Advanced Study munkatársának idevágó előadása, melyet a Gödel-centenárium keretében, 2006. november 17-én tartott. De vegyük a dolgokat sorjában.

David Hilbert finitista matematikafilozófiai irányzata cantori terminológiát alkalmazva azt mondja ki, hogy egy konzisztens axiómarendszer egyértelműen definiálja a benne előforduló fogalmakat, továbbá biztosítja,

Elektrosztatika	Magnetosztatika	Gyenge kölcsönhatás	Erős kölcsönhatás	Gravitáció
Elektromágneses kölcsönhatás			Kvantum-szindinamika	
Kvantum-elektrodinamika		Elektrogyenge kölcsönhatás		Általános relativitáselmélet
Nagy egyesített elmélet (Grand Unified Theory, GUT)				
Kvantumgravitáció, „Világképlet” (Theory of Everything, ToE)				

1. ábra. Az elméleti fizika épületének struktúrája

hogy a rendszer által lefedett tartomány konzisztens totalitásként létezik. Az 1934-ben megjelent, *Grundlagen der Mathematik I.* című társszerzős művében Hilbert a fizika és matematika kapcsolatáról a következő véleményen van: Mivel a fizikai elméletek matematikai fogalmakra és eredményekre támaszkodnak, elengedhetetlen, hogy a felhasznált matematika ne vezethessen ellentmondásra. *A matematikai elméletek voltaképp a véges tapasztalat bizonyíthatóan megbízható tudományos extrapolációinak vehetők.*

A világformula megalkothatatlanságát is jelentő Gödel-tétel(ek) Kurt Gödelnek abból a sikertelen kísérletéből eredtek, hogy Hilbert programjának keretében bizonyítsa az analízis relatív konzisztenciáját a klasszikus számelmülethez képest. Már a most végződött mondat is utal rá, hogy valójában két Gödel-tételről van szó. Ezek a következők:

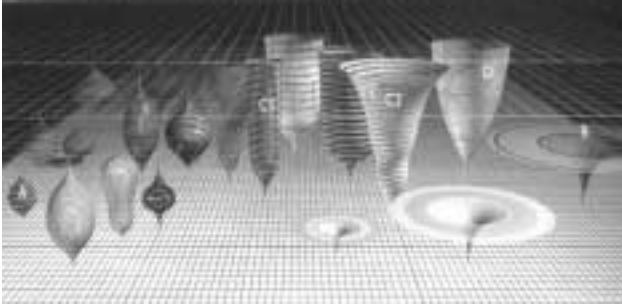
- I. Gödel első nem-teljeségi tétele:
ha S olyan formális rendszer, melyre
 - S nyelvezete tartalmazza az aritmetika nyelvezetét,
 - S tartalmazza PA -t és
 - S konzisztens,

akkor van olyan A aritmetikai mondat, mely igaz, de S keretén belül nem bizonyítható. (Itt PA a Giuseppe Peano-féle aritmetikai axiómarendszert jelöli.)

- II. Gödel második nem-teljeségi tétele:
ha S olyan formális rendszer, melyre
 - S nyelvezete tartalmazza az aritmetika nyelvezetét,
 - S tartalmazza PA -t és
 - S konzisztens,

akkor S konzisztenciája (Con_S) S keretein belül nem bizonyítható. (S akkor minősül konzisztensnek, ha nem fogalmazható meg benne olyan A kijelentés, melynek mind igenlése, mind tagadása bizonyítható S keretei között.)

S ellentmondástalanságát tehát általában nem lehet az axiómarendszeren belül igazolni. Így csak egy bővebb axiómarendszer segítségével lehet eldönteni, mint ahogy annak ellentmondástalanságát egy még bővebb axiómarendszerben, és így tovább a végtelenségig. Hitoshi Kitada neves japán matematikus vonatkozó nézetét idézve: „A fizikai világ természetes számokat mindenképpen tartalmaz, és szavak rendszerével írjuk le, amely formális fizikai elméletté formálható. Így minden konzisztens fizikai elmélet eldönthetetlen proposíciót is tartalmaz, melynek korrektsége az emberek számára mindaddig rejtett marad, amíg nem találunk olyan jelenséget, észlelési tény, amely a javaslatot alátámasztja, vagy cáfolja. Gödel tétele értelmében ilyen proposíció azonban



2. ábra. A hipotetikus Multiverzum egymással igen gyengén kölcsönható tagjai különböző természeti állandókkal, törvényekkel, életúttal jellemezhetők, és csak a különlegesen kedvező körülményeket nyújtókban alakul ki élet.

korlátlan számban létezik. Így emberi lény – vagy bármely más finit entitás – sohasem lesz képes megalakítani olyan *végző* elméletet, amely képes kifejezni az Univerzum jelenségeinek totalitását.”

Gödel tételei természetesen nem jelentik a fizika végét. Bár, mint *Hawking* hivatkozott Dirac-centenáriumi előadásában is megjegyzi, a jelenlegi fizikai elméletek sem nem konzisztensek, sem nem teljesek, nincs elvi akadály olyan elmélet megalkotásának, amely egységes magyarázatot ad minden *ismert* fizikai jelenségre. *Egyetlen elmélet sem tudja azonban garantálni, hogy a jövőben semmi alapvetően újat sem fedeznek fel az Univerzumban (akár elméleti, akár empirikus vonatkozásban), ami egy új, átfogóbb elméletet tesz szükségessé.* Tehát mindig lesz érdekfeszítő munkája utódainknak is.

Most jutottunk el ahhoz az okhoz, amiért Feferman előadását említettem. A szerző *Freeman Dyson*nal vitatkozva (aki *Brian Green* *The Fabric of the Cosmos* című könyvéről készített recenziójában azt írja, hogy Gödel tétele következtében a fizika is kimeríthetetlen) azon a véleményen van, hogy a Gödel-tételeknek semmi közük sincs a fizika alapvető törvényeihez. Az, hogy a kutatásoknak elvileg vége lesz-e egyszer vagy sem, nem dönthető el egyszerűen matematikai alapokon.

Jákival, Kitadával, Hawkinggal, Dysonnal és a többi „Gödel-pártival” kell egyetértenünk. Gödel gondolatmenetének valóban semmi köze sincs a fizika jelenleg ismert alapvető törvényeihez. Mint ahogy például a newtoni fizikának sem volt szüksége *Bolyai*, *Lobacszevszkij* és *Riemann* majdani eredményeire. De senki sem vitathatja, hogy a matematika belső fejlődéséből fakadó nem-euklideszi geometriák nélkül az általános relativitáselmélet sem lett volna megalkotható. Ami ma még „fizikailag lehetetlennek” számít, holnap ténylegesen létezőnek bizonyulhat (gondoljunk pl. a kvantumcsatolt részecskepárok nemlokális viselkedésére), és tovább gazdagíthatja a Világmindenségről alkotott képünket. A tudománytörténet azt tanítja, hogy ismereteink mindenkor csupán korlátozott pontosságúak az anyagi világ kimeríthetetlen sokfélesége, valamint tudatunkban való nem teljesen adekvát tükröződése következtében. Hiába hivatkozik Feferman arra, hogy a jelenlegi fizika matematikai háttere legfeljebb a Zermelo–Fraenkel-axiómarendszert használja ki, semmi sem biztosít minket arról, hogy sohasem lesz majd szükség

erősebb alaptételekre. (Ugye, valamikor még a párhuzamossági axióma is megdönthetetlennek látszott, és hogyan is tudnánk leírni például a fekete lyukakat, ha Bolyaiék nem tudtak volna túllépni rajta!)

Gödel a fizikában sokáig negligálták (de hiszen ez történt annak idején Arisztarkhossal is), és bizony jellemző a Jáki által leírt 1976-os eset, amikor egy Nobelkonferencián *Fred Hoyle*, *Victor Weisskopf*, *Steven Weinberg*, *Murray Gell-Mann* és *Hillary Putnam* mellett egy hatos panel tagjaként arra kellett rádöbbsennie, hogy a rangos társaságban ő tud egyedül Gödel tételéről.

Igen jellemző Einstein esete is, aki ráadásul Gödellel kifejezetten jó barátságban volt. Sokáig mindketten Princetonban dolgoztak, és Einstein egy alkalommal azt mondta *Oskar Morgenstern*nek, a játékelmélet egyik ismert megalapozójának, hogy gyakran csak azért ment be az intézetbe, hogy a munka után Gödellel sétálhasson haza. („Um das Privileg zu haben, mit Gödel zu Fuß nach Hause gehen zu dürfen.”) Bár Einstein több mint 30 évig dolgozott az egyesített elméleten, ebben a vonatkozásban sohasem használta ki a közeli barátságot.

Befejezésül álljanak itt *Hilbert* szavai a *Grundlagen der Geometrie* című nagy klasszikus munkája végéről: „Amikor matematikai elmélkedéseink során találkozunk egy problémával, vagy megsejtünk egy tételt, megismerési ösztönünk csak akkor elégtül ki, ha vagy tökéletesen megoldjuk a problémát, illetve szigorúan bizonyítjuk a tételt, vagy világosan felismerjük a siker lehetetlenségét, és a szükségszerű kudarc alapját. Így az újabb matematikában kiemelkedő szerepet játszik bizonyos feladatok *megoldhatatlanságának* kérdése, és az ilyen kérdések megválaszolására irányuló törekvés gyakran vezetett új és gyümölcsöző kutatási területek felfedezéséhez.” (Erre a Gödel-tétel keletkezése is jó példa, és az okfejtés természetesen igaz a fizikai elméletekre is.)

Igen, az áhított Világformulát, egyfajta Szent Grált, nyújtó álom továtűnt, de egy fontos felismeréssel talán gazdagabbak lettünk.

Irodalom

1. B.A. Balázs, *The Cosmological Replication Cycle, the Extraterrestrial Paradigm and the Final Anthropic Principle*. Diotima, Athens (2005) 44 old.
2. S. Feferman, *The nature and significance of Gödel's incompleteness theorems*. <http://math.stanford.edu/~feferman/papers/Godel-IAS.pdf> (2006)
3. K. Gödel, *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38 (1931) 173
4. S. Hawking, *Gödel and the End of Physics*. <http://www.damtp.cam.ac.uk/strts/Dirac/hawking> (2002)
5. Zs. Hetesi, B.A. Balázs, *On the Question of Validity of the Anthropic Principles*. *Acta Physica Polonica B* 37 (2006) 2729
6. D. Hilbert, *Grundlagen der Geometrie*. (1899), 8. kiadás, Teubner, Stuttgart (1962)
7. D. Hilbert, P. Bernays, *Grundlagen der Mathematik I*. Springer, Berlin (1934)
8. Jáki Sz., Egy megkésétt ébredés: Gödel a fizikában. *Fizikai Szemle* 54/10 (2004) 338
9. H. Kitada, A Possible Solution for the Non-existence of Time. arXiv:gr-qc/9910081 (1999)
10. M. Rees, *Just six numbers: the deep forces that shape the universe*. Basic Books, New York, N.Y. (2000), Magyarul: *Csak hat szám*. Vince, Budapest (2001) 190 old.
11. L. Smolin, *How are the Parameters of Nature Selected?* <http://online.itp.ucsb.edu/online/bblunch/smolin/> (1999)