

SZÉKELY LÁSZLÓ

A fizikai megismerés határainról és határtalanságáról

A Higgs-bozon és a fizika „végső elmélet”-e

1. Bevezetés

Október beköszöntével, körülbelül akkor, amikor nálunk véget ér a szüret és elkezdene sárgulni a levelek, a tudományos világ – de a sajtó és a tudományok iránt érdeklődők szélesebb közönsége is – Stockholm felé fordul, és érdeklődéssel várja a Nobel-díj bizottság döntését. S bár a díjak kiosztása után valamennyi díjazott munkássága egy időre a tömegtájékoztatás fókuszába kerül, talán mégiscsak a fizika területén kapott Nobel-díj az, amely a legnagyobb áhítatot váltja ki, hiszen elsősorban ez az a tudomány, amelyhez a mikro- és makrokozmosz titkai kapcsolódnak. Persze ezt a díjat sem mindig ilyen kérdések vizsgálatáért adományozzák. Ez évben azonban erre sem lehetett panasz: a bizottság választása az „isteni részecske”, az egész kozmoszt állítólagosan kitöltő „titokzatos” sötét anyaggal kapcsolatba hozott Higgs-bozon¹ elméletének megalkotóira esett. Igaz, jó egy évvel ezelőtt a tudományon kívül nem sokan tudtak még erről az elemi részecskéről. Ám miután egy kutatócsoport bejelentette, hogy a svájci nemzetközi részecskegyorsító segítségével sikerült megfigyelni, nagy hírverést kapott e témakör, s most jól rimelt erre az ez évi fizikai Nobel-díj.

Mielőtt továbblépnénk, először is tisztáznunk kell, hogy az itt szereplő „isteni” jelző csupán a szenzációhajhász sajtó által

A szerző ezúton mond köszönetet az OTKA-nak, amely a K 79194 szám alatt támogatja a jelen tanulmány megszületését.

1 A részecskefizika a részecskéket két osztályba, a „fermion”-okra és „bozon”-okra osztja: az előbbieket alá vannak vetve a Pauli-féle kizárási szabálynak, s nevük az olasz fizikusra, Fermire utal; az utóbbiakra nem érvényes e szabály, s elnevezésük az Einstein–Bose-féle statisztika egyik megalkotójának, az indiai Satyendra Nath Bose-nak állít emléket.

használt, a fizikusok többségét – így magát Peter Higgs-et is – bosszantó üres, tartalmatlan címke. A szóban forgó részecskét ugyanúgy nevezhetnénk „ördögi” bozonnak, mint amiképpen a szakirodalomban és különösképpen a népszerűsítő művekben gyakran „bájós”-ként megjelölt kvarkot „ronda” kvarknak. Továbbá az úgynevezett „sötét anyag” kérdése sem olyan egyszerű – de nem is olyan jelentős –, ahogy ez a szenzációhajhász híradásokban szerepel. Ami igazán méltóvá teszi a Higgs-bozont – és így az idei Nobel-díjat – arra, hogy komolyabban foglalkozunk vele, az nem ez, hanem a fizikusok régóta kergetett nagy álma, az úgynevezett „végső elmélet” („final theory”).² Ennek ugyanis e részecske egyik sarokkövévé válhat, s ha tényleg sikerülne megalkotni ezt az elméletet, ez annak a fizikai forradalomnak a beteljesedését-lezárását jelentené, amely a 19. század végi, befejezettnek tűnő fizikában előbb a relativitás elméletével és a kvantumhipotézissel, majd az utóbbi nyomán kidolgozott kvantummechanikával új távlatokat nyitott. Az igazi kérdés tehát az – és ebbe a kontextusba illeszkedik az idei Nobel-díj is –, hogy a 20. század elején megszületett új fizikai világmépet kerek egészévé sikerül-e századunkban beteljesíteni a múlt századi fizikát, ezáltal pontot téve valamivel több mint százéves történetére?

2. A „végső elmélet” mint metafizika és természettudomány

A „végső elmélet” lehetősége első közelítésben tisztán fizikai kérdésnek tűnik, amelynek megválaszolásához a mai fizika eredményei felé kell fordulnunk. Csakhogy jelentésének pontos megfogalmazása és megértése valójában megköveteli a filozófiai-tudományfilozófiai vizsgálódást, mint amiképpen az is csak a filozófia segítségével dönthető el, hogy a vele kapcsolatos cél mennyiben reális, mennyiben elérhető. A jelen tanulmányban ezért először tárgyunk ezen elsődleges, filozófiai aspektusát járjuk körül, s csak ezután foglalkozunk a mai fizika konkrét állapotaival.

Mindenekelőtt azzal kell kezdenünk, hogy filozófiai szempontból a „végső elmélet” fogalma eleve gyanúsnak tűnik, s e gyanú megalapozott is annyiban, hogy a népszerűsítő irodalomban és egyes fizikusok megnyilatkozásaiban e fogalomhoz a mindenre választ adó tudás képzete vagy éppen „isten gondolatainak” kifürkészése³ kapcsolódik, továbbá azt is elvárják tőle, hogy ne csupán megmagyarázza, hanem egyúttal minden mozzanatában a priori szükségszerűként mutassa fel a fizikai világot. Ennyiben e fogalomhoz egyfajta minden korláton túli – a

2 Vö. pl.: Weinberg, Steven: *Dreams of a Final Theory*, Pantheon Books, New York, 1992.

3 Vö. pl.: Hawking, S. W.: *Az idő rövid története*, Maecenas Kiadó, Budapest, 1988, 176–177.

fizika elégséges alapját is magában foglaló – *határtalan* tudás képzeze kapcsolódik. Am tárgyszerűen tekintve a „végső elmélet” valójában egy *jól behatárolt*, a természettudományos megismerés előfeltétel-rendszerében – így filozófiai beállítódásunk függvényében a kanti tiszta ész, a heideggeri kalkulatív gondolkodás vagy éppen (Lakatos Imre fogalmával) a 20. századi fizika „kutatási programja”-nak keretében – értelmezhető célt jelöl. Ennek megértéséért elsősorban azt kell hangsúlyoznunk, hogy a relativitás elmélete és a kvantummechanika olyan egyetemes fizikai elméletek, amelyek minden fizikai létezőre vonatkoznak és a fizikai világ alapelméleteinek tekinthetők. Igaz, az általános relativitás egy speciális jelenségről, a gravitációról szól, csakhogy a gravitációnak minden fizikai létező alá van vetve – szemben például az elektromossággal, amely csupán a fizikai jelenségek egy szűkebb osztályának sajátossága. Ugyanígy, a kvantummechanika egyetemesen érvényes az elemi részecskék világán túl a makroszkopikus létezőkre is: e szinten csupán azért nem találkozunk a speciális kvantumjelenségekkel, mert vagy kicsinyiségük miatt elhanyagolhatóak, vagy a mikrovilágban fellépő hatások az elemi részecskék sokaságából felépülő makroszkopikus testek esetében kiegyenlítődnek. Ugyanakkor bármennyire is alapvető a fizikában ez a két előbbi elmélet, arról egyik sem nyújt információt – s nem is nyújthat, hiszen nem ez a tárgyuk –, hogy milyen elemi részecskékből és hogyan épül föl a tér-időbeli világ, s ennek részeként a gravitációs kölcsönhatáson kívül még milyen kölcsönhatások működnek benne. Hasonlóképpen, bár a kozmológia dimenziójában a gravitáció a meghatározó, és ennek megfelelően a gravitációról szóló általános relativitás elmélete itt kulcsfontosságú szereppel bír, a világegyetem nagy léptékű anyagstruktúráira, a benne lévő fizikai anyag állapotára, fejlődésére az elemi részecskék fizikája és a gravitációtól különböző kölcsönhatások szintén hatással vannak. Ennek megfelelően a fentebb említett két nagy elmélet – a relativitáselmélet és a kvantummechanika – a kozmológia tekintetében is számos kérdést nyitva hagy.

Mármost a *fizikai végső elmélet* fogalma ebben a konkrét kontextusban fogalmazódott meg: olyan elméletet jelöl, amely a kvantummechanika és a relativitáselmélet változatlan megőrzésével és részben éppen ezekre építkezve mind a részecskefizika, mind a kölcsönhatások, mind a kozmológia tekintetében valamennyi jelenséget néhány alapvető fogalomból és posztulátumból kiindulva egyetlen elmélet keretében megmagyaráz és matematikailag kiszámíthatóvá tesz.

Persze a most fölvázolt, szigorúan fizikai kontextusban sem evidens, hogy egy ilyen elméletet valóban „végső-”nek tekinthetünk-e? Így ha a mai fizikára sikerülne is ilyent kidolgozni, azt később újabb, korábban nem várt fölfedezések bármikor megkérdőjelezhetik. Ez az ellenvetés azonban csak akkor érvényes,

ha a „végső” jelzőt metafizikai értelemben, az örökkévalóságra való utalásként értelmezzük, azaz a szóban forgó elméletet nem csupán a mai fizikában elvileg lehetséges pontossággal és hatékonysággal működő eszközeinkkel összegyűjtött, ma rendelkezésre álló adatok vonatkozásában tekintjük végsőnek. Az utóbbi fél évszázad fizikája egyébként sem arról szól, hogy nem várt, meglepő új jelenségek tárulnak föl előttünk. Éppen ellenkezőleg – mint amiképpen ez a Higgs-bozon esetében is történt –, a nagy fölfedezések többnyire korábban soha meg nem figyelt, de teoretikusan már várt jelenségekkel voltak kapcsolatosak. Ezért, bár nem zárható ki teljesen, kifejezetten spekulatív az a fölvetés, hogy ma még nem sejtett jelenségek sokasága lappang rejtve előttünk, s ezek majd egyszer föl fogják borítani az eddigi fizikát. Egy, a jelenlegi fizikában mindent megmagyarázó „végső elmélet” korlátok nélküli jellegét csak az fenyegetné, ha ez a felettébb spekulatív jelenség realizálódna. Ám a mai fizika kontextusában, a mai fizika „territórium” tekintetében egy ilyen elmélet még ekkor is megmaradna mindent összefoglaló, lezáró és ebben az értelemben „végső” elméletként.

A következőkben az előbbieknél megfelelően a „végső elmélet” terminus alatt egy olyan, a most körülhatárolt racionális-természettudományos kereteken belüli egységes elméletet fogunk érteni, amely választ ad a mai fizika (és az abba beleértett fizikai kozmológia) megoldatlan problémáira, s ennek részeként kiszámíthatóvá, előre jelezhetővé tesz egyrészt minden *ma ismert* fizikai jelenséget, másrészt minden olyan jövőbeni fölfedezésre kerülő, *ma még ismeretlen* fizikai létezőt, amely *beleilleszkedik* a fizika mai rendszerébe. A fizikusok által gyakran használt másik elnevezésre, a „minden (fizikai létező) elméleté”-re („Theory of Everything” – „ToE”) utalva: a „végső elmélet” kifejezés egy olyan fizikai elméletet fog jelölni, amely minden *ma ismert*, valamint minden *ma még nem ismert*, de a mai fizika rendszerébe beilleszthető, jövőben megismerendő fizikai jelenséget az elmélet alapjaiból levezethetővé és kiszámíthatóvá tesz, és ebben a speciális értelemben megmagyaráz.

3. Ellenérvek a végső elmélettel szemben

3.1. A kozmológiai megismerés korlátjai

Mint utaltunk rá, a „végső” elmélet fogalma magában foglalja a kozmológiai elméletet is, és e tekintetben nyilvánvalóan súlyos *ismeretelméleti határokba* ütközünk. Ezek a határok azonban nem a „végső” jelzőre vonatkoznak, hanem a kozmológiára mint a világegyetem egészét megragadó természettudomány lehetőségére általában. Annak idején, az 1960-as évek elején több szerző is rámutatott egy ilyen kozmológia elvi, ismeretelméleti korlát-

jaira,⁴ de azután a háttérsugárzás felfedezése és az „ősrobbanás” – azaz a korai forró univerzum – elméletének diadalmenetével ezen filozófiai elemzések figyelmen kívül maradtak. Következésképpen a fizikai kozmológia ma is a világegyetemről mint egészről beszél, és azt állítja magáról, hogy képes a klasszikus kozmológiai problémákat – így a világegyetem keletkezésének, valamint véges vagy végtelen voltának kérdését – átvenni a metafizikától, és a természettudomány eszközeivel autentikusan megválaszolni. Azzal, hogy ez mind logikai, mind pedig ismeretelméleti okok miatt hamis illúzió, a jelen sorok szerzője többek között éppen a *Pannonhalmi Szemle* lapjain foglalkozott.⁵ Ezért most csak a két legfontosabb mozzanatot fogom röviden megemlíteni.

Először is véges voltunk miatt a természettudomány számára eldönthetetlen, hogy a világegyetem véges-e vagy végtelen, mint amiképpen az is, hogy az általunk megfigyelt tartományának jellegzetességei vajon a világegyetem valamennyi régióját jellemzik-e? A ma kultivált természettudományos kozmológiai modell – amelyen a köztudatban az ősrobbanás és a táguló világegyetem elmélete néven ismert teória alapul – arra a föltevésre épül, hogy a világegyetem mindenütt olyan, mint az általunk megfigyelt tartományában. Ez azonban végességünk – de egyúttal a relativitás elméletből következő kozmológiai horizont mint természettudományos ok miatt is – empirikusan ellenőrizhetetlen. A világegyetem egyöntetűségére (homogenitására) vonatkozó föltevés lehet igaz – és akkor a ma kurrens kozmológiai elmélet valóban szólhat az egész világegyetemről –, de elképzelhető az is, hogy a világegyetem inhomogén, és a kozmológiai megfigyeléseinkben adódó sajátosságok csupán ennek az inhomogén világegyetemnek egy lokális, az egészre nem jellemző tartománya tekintetében állnak fenn.⁶ Ez esetben pedig az elmélet – beleértve a kiinduló kozmológiai modellt és az erre fölírt kozmológiai egyenletet is – csupán erre a lokális tartományra vonatkozik. Így például lehetséges ugyan, hogy az egész világegyetem ugyanúgy hasonló eloszlású galaxisokból épül föl és „tágul”, mint az általunk megfigyelt tartomány, de az is, hogy ez a sajátosság csak annak valamely, *bár igen nagy* (a megfigyeltnél talán sokkal nagyobb), *de mégiscsak lokális* régióját jellemzi, s máshol – számunkra elérhetetlenül – akár összehúzódó régiók is találhatóak. Nem állíthatjuk tehát azt sem, hogy hamis az a nézet, mely sze-

4 Így különösen: Munitz, Milton K.: The Logic of Cosmology, *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 13. No. 49. (May 1962) 34–50.; Harre, R.: Philosophical Aspects in Cosmology, *The British Journal for the Philosophy of Science* Vol. 13. No. 50. (August 1962) 104–109. Korábbirol vesd össze még: Dingle, Herbert: Philosophical Aspects of Cosmology, in *Vistas in Astronomy*. Volume 1. (1955) 162–166.

5 Székely László: Kozmológia és természettudomány. A fizikai kozmológia ismeretelméleti határaitól, *Pannonhalmi Szemle*, 2006/4. 63–80.

6 Vö. pl.: Weinberg, Steven: *Az első három perc*, Gondolat, Budapest, 1982, 106.

rint a mai kozmológiai elméletek az egész világegyetemet írják le, mert az empirikusan megfigyelhető régió szükségszerű *határoltsága* miatt éppen az az *eldönthetetlen* kérdés, hogy valójában így van-e. A modern kozmológiai beszámolók nem akkor válnak ezért illuzórikussá, amikor lehetségesnek tartják, hogy az elmélet az egész világegyetemet reprodukálja, hanem akkor, ha ezt a lehetőséget bizonyított – vagy bizonyítható-eldönthető – igazsággként állítják be.

A másik pont, ahol nyelvezetében a modern kozmológia kilép a természettudomány kereteiből és a metafizika területére téved, a forró világegyetem és az ősrobbanás eleméletének radikalizálása a világegyetem semmiből való keletkezésének elméletévé. Az erre vonatkozó verbális frázisok azon alapulnak, hogy az időtengely „nulla” pontjához (azaz a feltételezett abszolút kezdethez) rendelt, a fizika törvényeinek engedelmeskedő kozmológiai „ősvákuum”-ot, mely mint ilyen nyilvánvalóan egyfajta fizikai létező, és ezért egyáltalában nincs köze a „semmi” fogalmához, a metafizikai, illetve a teológiai értelemben vett „semmi”-vel azonosítják.⁷ De nemcsak arról van szó, hogy ez az ősvákuum valójában a fizikai törvényeinek alávetett fizikai létező, hanem arról is, hogy eredetéről, keletkezéséről ezek a teremtés elméletét állítólagosan helyettesítő fizikai elméletek nem szolgálnak információval. A közismert anekdota szerint Laplace állítólagos válasza Napóleon kérdésére, amikor az 1802-ben megkérdezte tőle, hogy Istent hol hagyta a Nap-rendszer keletkezését leíró elméletéből („Nem volt szükségem e hipotézisre”), valójában indokolatlan, hiszen az elmélet kiindulópontjául Laplace felvett egy izzó, forró – és ráadásul forgó – gázgömböt, amelynek eredetével egyáltalában nem foglalkozott. Ezzel együtt maga az anekdota mégis igényesebb, mint a semmiből való keletkezés elméletével – legalábbis verbálisan – kacérkodó modern kozmológia, mert ezt az izzó gázgömböt nem nevezi semminek. (Az, hogy a szóban forgó beszélgetés valóban az előbbieket szerint zajlott volna le, kérdéses.)

Mindez azonban nem jelenti azt, hogy ne volna elképzelhető olyan természettudományos kozmológiai elmélet, amely a világegyetem számunkra hozzáférhető tartománya tekintetében mindenre magyarázatot nyújt, beleértve ebbe azt is, hogy annak mai állapota miképpen fejlődött ki egy régebbi forró, sűrű – vagy éppen más – állapotból. Egy ilyen, a természettudományos megismerés kritériumaival összhangban lévő, ugyanakkor minden kozmológiai megfigyelést levezethetővé-kiszámíthatóvá tévő, a

7 E témával jelen sorok szerzője évekkel ezelőtt *Mitosz és tudomány a modern kozmológiával* című írásában részletesebben foglalkozott. (Café Bábel, 1995/ tavasz, 149–162.) Vö. még: Székely László: A világegyetem keletkezésének eszméje az archaikus kultúrákban és a modern tudományban, in Fehér Márta (szerk.): *Teremtés. Filozófiatörténeti tanulmányok*, Áron, Budapest, 1996, 183–216.

számunkra kozmológiailag megfigyelhető jelenségek teljes univerzumát tartalmazó „végső” kozmológia elvileg lehetséges.

3.2. A fizikai elméletek interpretációs bizonytalansága

Olykor a végső elmélet lehetősége elleni érvekben előkerülnek a Heisenberg-féle határozatlansági relációk, ám a rájuk vonatkozó hivatkozás ebben az összefüggésben értelmezhetetlen, hiszen ezek a relációk éppen a kvantummechanikai tudás részét képezik, és a kvantummechanika hatékonyságát tanúsítják. Az a fölvetés, hogy e határozatlansági relációk ma még ismeretlen, „rejtett” paraméterek föltárásával föloldhatók, szintén nem jelent ellenérvet, hiszen ekkor e rejtett paraméterekkel együtt lesz az elmélet „végső”. Hasonlóképpen, az a tény, hogy a kvantummechanika szűkebb fizikai-matematikai magja ontológiailag különböző interpretációkat tesz lehetővé, ugyancsak nem érinti a fizikai végső elmélet elvi lehetőségét. Amiképpen ugyanis a kvantummechanika hatékonyságát, a kvantumfizikai jelenségek előrejelezhetőségét-kiszámíthatóságát a kvantummechanika matematikai formába öntött törvényeiből a különböző ontológiai interpretációk nem korlátozzák, úgy a „végső elmélet”-nek a mai fizika relációjában megnyilvánuló „végső” jellegét sem érintené az, ha ez az elmélet különböző ontológiai vagy metafizikai interpretációkat engedne meg.

3.3. Gödel nem-teljességi tétele

Végül meg kell még említenünk azt a néhány fizikusnál is megjelent hibás álláspontot, amely szerint Gödel nem-teljességi tétele eleve kizárja a végső elméletet.

a) Végességünk következtében tudásunk *sohasem határtalan*: bár az elmélet vonatkozhat egy jelenségcsoporton belül végtelen sok egyedi jelenségre, természettudományos elméleteink csupán jelenségek osztályainak véges halmazáról szólnak. Például a gravitáció newtoni elmélete ugyan végtelen sok szituációra vonatkozik, ám csupán egyetlen jelenségtípusra, és ezért néhány véges állításban megfogalmazható. Gödel tételének pedig nem tárgya véges állítások rendszere.

b) Gödel tétele csak olyan axióma-rendszerekre vonatkozik, amelyek alkalmasak arra, hogy modelláljuk benne a természetes számok elméletét. Az pedig egyáltalában nem biztos, hogy a mai fizikát lezáró-összegző – és ebben az értelemben a mai fizika szituációjában „végső” – elméletnek ilyen axiómarendszeren kell alapulnia. (Az ne zavarjon bennünket, hogy a fizika használja a természetes számokat: attól még Newton gravitációelmélete is véges elmélet, és ezért nem vonatkozik rá a tétel.)

c) Végül, ha a Gödel-tétel érvényességi körébe eső, axiomatikusan felépített fizikával volna is dolgunk (azaz csak ilyen elméletként jöhetne szóba a végső elmélet), még ekkor sem volna egyáltalában biztos, hogy a keretében megfogalmazott eldönthetetlen Gödel-állítások fizikai relevanciával bírnának. Amennyiben pedig mégiscsak így volna, ez sem zárna ki föltétlenül, hogy egy ilyen elméletet a fizika lezárt elméletté fejlesszen tovább, mivel későbbi megfigyelések révén a kérdéses állítások esetleg empirikusan eldönthetővé válhatnak, és ekkor további axiómáként rögzíteni lehetne őket az elmülethez.

A fentiekből következik, hogy ha az általunk körülírt racionalis-természettudományos kereteken belül maradunk, akkor Gödel tételének nincs kihatása a fizikára. Sőt, e tétel a metafizikai értelemben vett végső fizikai elméletet is csak akkor zárna ki, ha a fizikai világ általunk eddig föltárt-megismert empirikus rétegei „mögött” további rétegek határtalan, soha ki nem meríthető sorozata húzódik meg, azaz, ha a fizikai világ egy határtalanul hámozható képzeletbeli hagymához hasonlít. Az azonban, hogy valóban így van-e, véges voltunk okán – tehát nem Gödel miatt – elvileg eldönthetetlen.⁸

E témakör lezárásaként meg kell említenünk még, hogy a természettudományosan-rationálisan értett végső elmélet lehetőségével kapcsolatos álláspontunk megegyezik a fizika és a Gödel-tétel viszonyát mind ez ideig legintenzívebben tárgyaló tudománytörténész-teológus, Jáki Szaniszló álláspontjával, aki szerint:

Gödel tétele nem jelenti azt, hogy fizikusok nem képesek előállni a „Theory of Everything”-gel, vagy röviden, a TOE-vel. Rátalálhatnak egy elméletre, amelyik abban a pillanatban formálai segítségével magyarázatot ad minden ismert fizikai jelenségre.⁹

Ezzel együtt Jáki megközelítését hibásnak tartom. Egyrészt a fenti eldönthetlenségi probléma, bár hasonlít rá, nemcsak nem igényli mellette szőő érvként Gödel tételét, hanem nem is következik belőle. Másrészt a természettudományos elméletek és a fizikai világ kontingenciája tekintetében Jáki szintén Gödelhez folyamodik, miközben az utóbbinak sem a nem-teljességre, sem az önkonzisztencia-bizonyítás lehetetlenségére vonatkozó tétele nem érinti az axiómák eredetét, illetve azok szükségsszerű vagy kontingens voltát. De e kontingencia egyébként sem igényel matematikai érveket, hiszen az mindig is evidens volt az európai

8 Az itt kifejtett elemzés a téma irodalmából talán leginkább John D. Barrow álláspontjához áll közel. Vö. Barrow, John D.: Mathematical jujitsu: Some informal thoughts about Gödel and physics, *Complexity*. Special Issue: Limits in Mathematics and Physics. Volume 5, Issue 5 (May/June 2000). 28–34., illetve: <http://philu.ruc.edu.cn/logic/reading/modernlogic/godelphysics.pdf>

9 Jáki Szaniszló: Egy megkéssett ébredés: Gödel a fizikában, *Fizikai Szemle* LIV. évfolyam, 2004/október, 338–443., idézet helye: 442.

filozófia számára: a fizika és a metafizika hagyományos megkülönböztetése többek között erről is szól.¹⁰

4. A végső elmélet elvi lehetősége

Az előbbi hagyma-hasonlat segítségével úgy fogalmazhatunk, hogy ismeretelméletileg tekintve a fizika történetében mind ez ideig a fizikai valóságnak két nagy rétege tárult föl előttünk: a klasszikus fizika által vizsgált jelenségek szférája és a 20. századi fizika világa. Az előbbieken természettudományos-rationális-ként értett végső elmélet erre a második rétegre vonatkozna, ennek tekintetében volna végső. S mivel lehetséges, hogy már nincs további, előlünk még rejtekező réteg, ez a korlátozottan „végső” elmélet egyben „határtalanul” és „örökkévalón” is végső lehet, hiszen ez esetben minden fizikai létezőt véglegesen megmagyarázna. Az az állítás persze, hogy a fizikai világnak nincs további, eddig számunkra még meg nem mutatkozó szintje, csupán cáfolható, de soha nem bizonyítható: amíg ugyanis egy ilyen harmadik, a mai fizikán túlmutató, abba nem integrálható jelenségekből álló szint fölfedezése esetén nyilvánvalóan el kellene vetnünk e lehetőséget, addig e fölfedezés hiánya nem föltétlenül jelenti azt, hogy e szint nem létezik.

Összefoglalásként tehát megállapíthatjuk, hogy a kozmológiai program megfelelő korlátozásával a mai fizikánkat egységes egészbe foglaló, valamennyi megfigyelt jelenségre előrejelzést nyújtó – és ebben az értelemben „végső” – elmélet elvileg lehetséges.

A kérdés ezek után most már csak az, hogy a fizikai világ a maga konkrét, empirikus épp-így-létében leírható-e egy ilyen elmélettel, vagy éppen ellenkezőleg: a fizikai jelenségek konkrét rendszere és a közöttük érvényesülő törvényszerűségek olyanok, hogy nem engednek meg ilyen leírást. A fentiekben megálapított elvi lehetőségből ugyanis még nem következik az, hogy ez a lehetőség a konkrét fizikai világ tekintetében is fennáll. S mindaddig, amíg egy ilyen, a mai fizikát összegző elméletet a fizikusoknak nem sikerül megalkotniuk, e kérdésre nem is adható válasz. Abból a tényből ugyanis, hogy még nincs ilyen elméletünk, ugyanúgy következhet egy ilyen elméletnek a fizikai világ konkrét szerkezetéből adódó lehetetlensége, mint amiképpen az is, hogy a fizikai világ lehetővé tesz ugyan egy ilyen elméletet, csak éppen a tudomány még nem találta meg azt.

10 Mint fentebb jeleztük, a nem-teljességi tétel csak speciális fizikai ontológia előfeltételezése esetén jelenik meg fizikailag relevánsként, és ez igaz a másik tételre is. Úgy tűnik, Jáki hibás megközelítése abból fakad, hogy nem veszi figyelembe ezt a korlátot.

5. A végső elmélet a mai fizika kontextusában

Most pedig, miután elemeztük a fizika végső elméletének fogalmát, meghatároztuk annak racionális-természettudományos értelmét és kijelöltük korlátjait, forduljunk a mai fizika felé!

A végső elmélet képzete ma egy olyan, a fizikai kölcsönhatásokat egyesítő *egységes mezőelmélet*ként (a fizika mai magyar nyelvzetében helytelenül egységes „térelmélet”-ként) fogalmazódott meg, amelyből mind a mikrofizikai, mind a makrofizikai, mind pedig a kozmológiai jelenségek levezethetőek, és amely így az egész ismert fizikai világot és annak minden jelenségét átfogja. Annak idején, a 19. század elején az elektromos és a mágneses erőket („kölcsönhatásokat”) és jelenségeket két egymástól elválasztott, önálló természeti szférának tekintették, ám kiderült, hogy szorosan kapcsolt jelenségekről van szó, és sikerült őket az elektromágnesesség egységes elméletébe ötvözni. Ma négy kölcsönhatást (populárisabb megfogalmazásban „erőt”) ismer a fizika: a mindenki által jól ismert gravitációs és elektromágneses, valamint a radioaktív bomlásért felelős gyenge és az atommagok alkotórészeit összetartó erős kölcsönhatást. Ennek megfelelően a „végső elmélet”-nek mint „minden (fizikai létező) elméleté”-nek programja egy olyan mezőelmélet kidolgozására irányul, amely e négy kölcsönhatást egyesíti.¹¹ Erre az elméletre gyakran mint a „kvantumgravitáció” elméletére hivatkoznak, mivel sarokkövét a kvantumjelenségek és a gravitáció szintetizálása jelentené – azaz a „végső elmélet” végeredményben a kvantumgravitáció elméletével volna azonos. Így a végső elmélet elvi lehetőségének és a fizikai világ épp-így-létéhez kapcsolódó tényleges lehetőségnek előbbieken elemzett viszonya e kontextusban e négy kölcsönhatás egyesíthetőségének kérdésben jelenik meg. A teoretikus fizikus, Lee Smolin szavaival:

[...] vajon lehetséges-e, hogy a természetben megfigyelt valamennyi erő egyetlen egy erő megnyilvánulása? Úgy tűnik [...] nincs logikai érv arra, hogy ennek igaznak kell lennie. De mégis lehet, hogy igaz.¹²

Ami e nagyszabású program mai állapotát illeti, az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatás egyesítésére már közel fél évszázada létezik egy jól kidolgozott, és elfogadottsága tekintetében a fizikusok között konszenzussal bíró elmélet, az elektrogyenge kölcsönhatás elmélete. Az elektromágneses, a gyenge és az erős kölcsönhatás hármasának egyesítésével – elterjedt megjelölésével a „Nagy Egyesítés”-sel – már nem ily kedvező a helyzet: bár általánosan elfogadottá vált e területen az úgynevezett „Stan-

11 Vö. pl.: Weinberg: *Dreams of ...*, i. m. 168–183.

12 Smolin, Lee: *The Trouble with Physics. The Rise of the String Theory, the Fall of Science and What Comes Next*, Houghton Mifflin Company, Boston – New York, 2006, 11.

dard Modell”¹³ (nem tévesztendő össze a kozmológia standard modelljével), mely a részecskefizikában kifejezetten sikeres, ám a szóban forgó három kölcsönhatás egyesítésére ennek ellenére még ma sincs egységesen elfogadott, problémamentes elmélet. Még több a nehézség a gravitáció tekintetében: az utóbbinak és az elektromágneses kölcsönhatásnak egy elméletbe történő szintetizálásával már Einstein is hosszú éveken át sikertelenül próbálkozott (utolsó évtizedeinek terméktelensége részben az ezen sikertelen próbálkozásokra elpazarolt alkotói energiával is magyarázható), és a kvantumgravitáció kidolgozására irányuló mai kutatásban sem jobb a helyzet. Sem az utóbbi évtizedek meghatározó úgynevezett „szuperszimmetria” („supersymmetry” – „SUSY”) elméletében, sem a kapcsolódó, rendkívül spekulatív, de sokáig ígéretesnek vélt „húrelmélet”-ben („string theory”), amely az általunk jól ismert rezgő (pl. zenei) húrok mintájára próbálja meg modellálni a különböző mikrofizikai és kozmológiai struktúrákat, nincs igazán előrehaladás.¹⁴ A húrelméleti paradigmában dolgozó magasan kvalifikált, élvonalbeli elméleti fizikusok száma ennek ellenére ma is meghaladja az ezret, és bár mindegyik iskola azt hirdeti, hogy az általa követett irányban határozott előrehaladásnak lehetünk tanúi (és az adott iskola mellett elkötelezett tudománynépszerűsítés ezt persze mindig lelkesen hirdeti), kívülről tekintve a sok irányzat, az elméletek és hipotézisek tarka, még csak szintézis felé sem konvergáló halmaza nem ezt a benyomást kelti. A legsúlyosabb anomália azonban mégsem ez, hanem a gravitációs hullámok hiánya. Az általános relativitáselméletből mint a gravitáció modern elméletéből az következik ugyanis, hogy a gravitációs térben gravitációs hullámoknak kell jelen lenniük, ám az ez irányban fennálló súlyos teoretikus érdekek és a nagy költségű projektek ellenére mind ez ideig ilyen hullámokat nem sikerült közvetlenül kimutatni. Részben ezzel is magyarázható, hogy a tárgykör kutatói olykor bizonyos kozmikus jelenségeket – így például a pulzárokat – vizsgálva próbálkoznak olyan effektusokat találni, amelyek bizonyos előfeltevések mellett a gravitációs hullámok jelenlétére vezethetők vissza. Ezek azonban semmiképpen sem kompenzálhatják az e hullámok közvetlen kimutatására irányuló kísérletek mind ez idáig fennálló tartós és masszív kudarcát. Igen paradigmatisztikus ezért, hogy a végső elmélet ideájának egyik legjelentősebb és fölöttébb népszerű fizikus híve, Stephen Hawking

13 Vö. pl.: Horváth Dezső: A standard modell: mi az és mire jó?, *Mikrovilág. Természet Világa*, 2000. III. különszám. (<http://www.termeszetvilaga.hu/kulonsz/k003/modell.html>)

14 Erről szól Lee Smolin előbb idézett monográfiájának egésze. Hasonló leírást ad e kutatásokról: Woit, Peter: *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Continuing Challenge to Unify the Laws of Physics*. Basic Books, New York, 2006.

a nehézségek sokaságára hivatkozva mára már föladta a végső elmélet programját.¹⁵

De hasonló problémákkal szembesülhetünk a kozmológia területén is. Annak idején a nagy sikert arató forró univerzum és ősrobbanás elmélete eredeti formájában (úgy, ahogyan azt Steven Weinberg nagy sikerű népszerűsítő monográfiájából¹⁶ megismerhettük) megbukott, mivel néhány alapvető kérdésre az elméletnek egyáltalában nem sikerült választ adnia. Ezért azután nagy szenzációt váltott ki, és a népszerűsítő irodalomban nagy hírverést kapott az úgynevezett „fölfúvódó világegyetem” elmélete, amely a forró világegyetem korai időszakára bevezeti a „negatív” (nem vonzó, hanem taszító, és ezért a fizikában sokáig illegitimnek tartott) gravitáció fogalmát, és föltételezi, hogy e taszító gravitációnak köszönhetően az a sűrű, forró kozmikus „ősanyag”, amelyből jelenleg megfigyelhető kozmikus környezetünk az elmélet szerint kifejlődött, egy adott, korai fázisban viharos sebességgel tágult, azaz „fölfúvódott”. Ezt az elméletet a kozmológiában is érdekelt sztárfizikus, a már említett Stephen Hawking (nyilván nem elfogulatlanul, hanem saját elméleti törekvéseit igazolandó, de ugyanakkor nem is teljesen alaptalanul) már megszületése után néhány évvel a következőképpen jellemezte: „...mint tudományos elmélet kimúlt, bár a jelek szerint többen még nem értesültek elhalálózásáról, és úgy irkálnak cikkeket róla, mintha élne és virulna.”¹⁷ Ha a „kimúlt” jelző helyett úgy fogalmazunk, hogy az elméletben túl sok volt az ad hoc elem, és számos olyan problémát vetett föl, amelyet nem igazán sikerült megoldania, akkor Hawking jellemzése ma, három évtized után is igaz. A helyzet csupán annyit változott, hogy akkor még csupán a kozmológusok elenyésző kisebbsége dolgozott a fölfúvódó világegyetem paradigmáján kívül, míg ma már – a paradigmában történő előrehaladás híján – nagyobb a nyitottság az alternatív elképzelések irányában. Az elméleti kutatások e területén persze a legkülönbélebb ötletek, elképzelések, hipotézisek, modellek és számítások virágzó sokaságával találkozhatunk, ám mindezek ellenére nem rajzolódik ki markáns tendencia vagy előrelépés, s ez annál inkább is szembetűnő, mivel a megfigyelési kozmológia területén az új – s ezek között különösen az űrbe kihelyezett – eszközöknek köszönhetően jelentős eredmények születtek, és immáron empirikus oldalról sokkal többet tudunk a bennünket körülvevő galaxisok világáról, mint bármikor korábban.

15 Hawking, Stephen W.: Gödel and the End of Physics, *Dirac Centennial Celebration*, Cambridge, UK, July 2002, <http://www.damtp.cam.ac.uk/strts/-dirac/hawking/>

16 Weinberg: *Az első három perc*, i. m.

17 Hawking: *Az idő rövid története*, i. m. 137.

6. A Higgs-bozon szerepe és jelentősége

Mint az előbbieken láttuk, jelenleg a gravitációt mellőző, a négyből három kölcsönhatást egyesítő Nagy Egyesítés az a terület, amely a végső elmélet programjára irányuló fizikai kutatások fronterületét képezik.

S itt jelenik meg a Higgs-bozon. A Nagy Egyesítés mai elméleteinek többsége a már említett Standard Modellen alapul, illetve e modellben konvergál. E modell pedig elképzelhetetlen az úgynevezett Higgs-mező, valamint a hozzá kapcsolódó részecske, a Higgs-bozon nélkül, hiszen ezek már az elektromgyenge kölcsönhatás elméletében is kulcsfontosságú szereppel bírnak, s a Nagy Egyesítés értelemszerűen magában foglalja az elektromgyenge kölcsönhatást. Empirikus szempontból ugyanakkor a bozonon van a hangsúly, hiszen az elmélet szerint ez – a mezővel szemben – megfelelő részecskegyorsító segítségével megfigyelhető, és megfigyelése a mező létezését is alátámasztja. A Standard Modellnek – amely a népszerűsítő irodalomban gyakran emlegetett kvark-elméletet is magában foglalja –, sikerült rendet vágnia az elemi részecskék első tekintetre áttekinthetetlen, kaotikus világában, s e teoretikus siker kiegészült azzal, hogy egy kivétellel valamennyi jelentős empirikus előrejelzése teljesült. Az egyetlen kivételt a Higgs-bozon képezte, amelynek létezésére kísérleti oldalról mindeddig semmi sem utalt, s ez a modell számára súlyos – akár végzetes bukással is fenyegető – anomáliát jelentett. A már idézett Lee Smolin 2006-ban, a világ egyik komplexebb és legdrágább – részben éppen a Higgs-bozon kimutatása érdekében épített – kísérleti berendezésének, a svájci CERN „LHC”-ként¹⁸ emlegetett nagy hadron-ütköztetőjének¹⁹ üzembe helyezése előtt írt szavaival:

*Mindenekelőtt azt várjuk az LHC-től, hogy látni fogja a Higgs-részecskét, ezt a Higgs-mezőt hordozó masszív bozont. Ha nem fogja, nagy zavarba fogunk kerülni.*²⁰

A Higgs-bozon létezésére utaló megfigyelések ettől a „nagy zavartól” mentették meg a mai fizikát, komoly empirikus támaszt adva a Standard Modellnek, s megerősítve a reményt, hogy ha nem egyhamar is, de a következő évtizedekben talán sikerül majd kidolgozni e modell végleges, a ma még nyitott kér-

¹⁸ „LHC”: „Large Hadron Collider”.

¹⁹ A korábbi jegyzetben említett fermionokat hadronokra és leptonokra osztja a részecskefizika. A hadronok – így közöttük a protonok és a neutronok – részt vesznek mind a gyenge, mind az erős kölcsönhatásban, s ugyanígy (elektromos töltésük függvényében) az elektromágneses kölcsönhatásban. A leptonok – közöttük a jól ismert elektronnal és a különböző neutrínókkal – viszont csak a gyenge és (ugyancsak elektromos töltésük függvényében) az elektromágneses kölcsönhatás hat rájuk. (Megjegyzendő, hogy a bozonok között is vannak hadronok: a két kvarkból álló mezonok.)

²⁰ Smolin, i. m. 69.

désekre is választ adó változatát. Ha pedig ez megtörténne, ez egyúttal azt is jelentené, hogy a fizika egy lépéssel közelebb kerülne a jelenleg még igen távolinak tűnő „végső” – azaz minden ma ismert fizikai létezőre magyarázatot nyújtó, s ezáltal a 20. század elejétől kibontakozó új fizikát beteljesítő – elmélethez. A teljesség kedvéért ugyanakkor azt is meg kell említeni, hogy a negyedik kölcsönhatást, a gravitációt is magában foglaló egysítés fő irányzatát képviselő szuperszimmetria (SUSY) elméletének mindmáig annak ellenére sem teljesült egyetlen egy előrejelzése sem, hogy a Higgs-bozon kimutatása mellett az LHC-t többek között éppen ezen elmélet tesztelésére is építették. S mint ilyenkor szokásos, az e területen dolgozó elméleti fizikusok – körülbelül úgy, ahogy Lakatos leír egy *degenerálódó* kutatási programot – ad hoc hipotézisek és trükkök segítségével megpróbálják elméletük empirikus következményeit a megfigyelési eszközök hatékonyságának mai küszöbértéke alá vinni, megmentve ezáltal a reményt, hogy a teória empirikus előrejelzései a jövőben mégiscsak teljesülnek majd. (A tervek szerint 2015-re az LHC teljesítményét a jelenlegi kétszeresére növelik, ami jelentősen fokozza majd a kísérletek hatékonyságát. Ezért az ezen évet követő kutatások sorsdöntőek lehetnek.)

7. Összegzés

Bár spekulatív lehetőségként nem zárható ki, hogy a jövőbeli felfedezések gyökeresen átrajzolják majd a mai fizikát, a „végső elmélet” ennek ellenére az általunk körülhatárolt racionális-természettudományos értelemben, azaz mint a mai fizikát lezáró, azt egységes elméleti keretbe ötvöző elmélet elvileg lehetséges. Az ugyanakkor, hogy ez az elvi lehetőség konkrét fizikai világunk esetében fennáll-e vagy sem, magának e konkrét fizikai világunk sajátosságaitól függ.

A mai fizikára tekintve úgy tűnik ugyanakkor, hogy részecskefizika sikerei ellenére a végső elmélet fogalmához tartozó két tartományban – a gravitációt is magában foglaló egységes mezőelméletben (a már fentebb említett helytelen magyar szóhasználat szerinti „térelmélet”-ben), amely a tulajdonképpeni végső elméletet jelentené, és a belőle levezetendő kozmológia területén – immár évtizedek óta csupán sikertelen kísérletezések, tapogatózások történnek. A helyzet e két területen hasonlít ahhoz a tudománytörténeti szituációhoz, amikor a bolygórendszer – nem csupán a ptolemaioszi, hanem a kopernikuszi (!) keretekben is – reménytelenül bonyolultnak tűnt, s ennek megfelelően a végső elméletre irányuló kutatások mai helyzetét kuhni terminológiával a paradigma válságaként, Lakatos Imre tudományfilozófiájának keretében pedig a kutatási program „degenerálódásaként” jellemezhetjük. Keplernél azután a Ptolemiosznál és Kopernikusznál egyaránt bonyolultként megjelenő bolygómozgások

váratlan fordulattal leírhatóvá váltak egyszerű, matematikailag szép és átlátható bolygópályákkal és mozgástörvényekkel. Nem zárható ki, hogy hasonló történik majd a modern fizika tekintetében is, bár természetesen a Ptolemaiosz–Kopernikusz versus Kepler analógia erre nem jelent garanciát. De analógiánkból az sem következik, hogy ha végül megszületne egy ilyen, a mai fizikát összegezõ, s ebben az értelemben „végsõ” elmélet, akkor az most is szükségképpen paradigmaváltás által történne, hiszen a válság nem szükségképpen vezet a paradigma vagy program bukásához: előfordulhat, hogy az eredeti paradigma, illetve program végül képes lesz fölülkerekedni nehézségein.

Ha a „végsõ elmélet”-re irányuló fizikai kutatásokban a 21. században sem következne be a fentiekben leírtakhoz képest alapvetõ változás, racionális volna föltételezni, hogy a fizikai világ konkrét épp-így léte az elmélet elvi lehetõsége ellenére sem teszi lehetővé annak kidolgozását, vagy ha igen, akkor ez az elmélet az emberi lények számára elérhetetlen. Ma viszont még korai volna egy ilyen következtetést levonni, s ezért a végsõ elméletre irányuló fizikai program – legalábbis az általunk körülhatárolt értelemben – ma még annak ellenére is racionális vállalkozás, hogy sok tekintetben reménytelennek tűnik. A Higgs-bozon létezésére utaló empirikus részecskefizikai megfigyelések pedig azáltal, hogy egyúttal a Higgs-mezõ elméletét is alátámasztják, a kiábrándító, ellentétes tendenciákkal szemben megerõsítik azt a reményt, hogy talán a következõ évtizedekben legalább a Standard Modellen alapuló Nagy Egyesítés – és ennek részeként az elemi részecskék fizikája – elnyerheti végsõ formáját.