

A tudománytörténeti példatár egy eleme: a speciális relativitáselmélet

Kmeczkó Szilárd

Debreceni Református Hittudományi Egyetem, Debrecen

Bevezetés

A szaktudományok viszonya a működésükre reflektáló tudománytörténethez és tudományfilozófiához e két diszciplína keletkezése óta kérdéses. Bizonyos helyzetekben azonban a történeti megközelítés teszi hozzáférhetővé a hallgatók számára azokat a tartalmakat, amelyek precíz megértéséhez szükséges matematikai eszköztár alkalmazására nem készít fel a képző intézmény. Az új elmélet mint tudományos névum történeti beágyazása természetesen kockázattal jár, ami az egzaktság fokát érintő kompromisszumokkal áll összefüggésben. Különböző, olykor egymással is vitázó szöveges és mozgóképes források elemzésével kísérletet teszek arra, hogy miképpen nyitható meg – főként Polányi Mihály tudományfilozófiai és tudománytörténeti munkásságára támaszkodva – Einstein laikusok számára bizarrnak tűnő elmélete a tanító szakos hallgatók számára.

Indoklásra szorul, hogy miért kerülhetett be a tanító szakos hallgatók fizikai és kémiai ismereteinek megalapozására szolgáló ismeretek körébe a tudománytörténeti példatár részeként a speciális relativitáselmélet, hiszen számos érv szólhat ellene, mint a komplikált matematikai nyelv és a hétköznapi tapasztalaton túlmutató jelenségkör. A mellette szóló egyik fontos érvnek tekintem azonban, hogy Einstein arca, személyes karakterének meghökkentő vonásai, a relativitáselmélet tartós jelenléte a populáris kultúrában mintegy természetes módon irányítja a hallgatók érdeklődését Einstein személye felé. Mindennek okai között ott van a meggyőződés, hogy a relativitáselmélet csakis egy zseniális elme intellektuális erőfeszítésének az eredményeként képzelhető el. A populáris kultúra Einstein agyát mitologikus tárgyá tette, s magát a tudóst ezzel a szervvel azonosította – a személyét az agy függelékének tekintve. Olyan mitologikus alakzatok adtak formát Einstein nagyközönség felé megjelenő személyének, amelyek egy mély titok közelségét ígérve évezredek óta inspirálják a gondolkodást. Roland Barthes a tömeg és energia ekvivalenciáját kifejező $E=mc^2$ egyenletet egy sima és egyenes kulcshoz hasonlítja, amelynek használatával eljuthatunk a világ tőlünk eddig elzárt, mélységes titkához. Einstein 20. századi mítoszában jelen vannak a gnosztikus gondolkodás témái: „a természet egysége, a világ lényegi redukciójának eszményi lehetősége, a szó varázsereje, egy titok meg egy szó ősrégi harca, valamint az a gondolat, hogy a teljes tudásra csak egy csapásra lelhet rá az ember, mint amikor a zár, számtalan hiábavaló próbálkozás után, hirtelen enged a kulcsnak” (Barthes 1983: 99). Mivel a felfedezés az elemző gondolkodás elől elzárt, mágikus, teremtő aktus, ezért könnyen társítható vele a mindennapok praktikus ügyein felülemelkedő, szórakozott professzor alakja, akinek a fejébe nem láthatunk bele, következésképpen furcsán indázó megjegyzései nehezen vagy alig követhetőek. Ternovszky Béla a *Macskafogó 1.* (1986) és *Macskafogó 2.* (2007) című animációs filmjeiben ezt a tudósportrét formázza meg Bob Poljakoff figurájával. A tévedések kizárása végett Poljakoff Einstein testi jegyeit hordozza.¹

A speciális relativitáselméletnek a tudománytörténeti példatárba való beemeléseivel a hallgatók feltételezhetően meglevő, előzetes érdeklődését próbálom járomba fogni, mivel

¹ Lásd <https://vimeo.com/298422773> (letöltve: 2020.12.19.)

ezáltal alkalom nyílik a 20. századi ún. kemény természettudományok jó néhány témájának a taglalására, amennyiben alkalmas médiumot sikerül találni a gondolatok közvetítéséhez.

1. Einstein's big idea (Einstein nagy ötlete)

A bostoni székhelyű WGBH médiavállalkozás a National Science Foundation megbízásából David Bodanis $E=mc^2$ című, nagyközönségnek szóló könyve alapján elkészítette Gary Johnstone rendezésében az egész estét betöltő *Einstein's big idea* című filmalkotást 2005-ben, melynek mind az angol eredeti, mind pedig a magyar szinkronnal ellátott változata elérhető a youtube.com videómegosztó felületén. Műfaját tekintve egyaránt nevezik dokumentumfilmnek, dokumentumdrámának és történelmi drámának. A film néhány perc hosszúságú, egymást váltó kosztümös jelenetek sorozata, amelyeket rövid szakértői kommentárok követnek. A film szerkezete így természetes módon lehetővé teszi az oktató rövidebb-hosszabb kiegészítéseit és emlékeztetőit, amennyiben lehetőség nyílik a közös megtekintésre. Mivel a megbízás részét képezte, hogy az alkotóknak a film keretei között helyett kellett biztosítaniuk a következő négy témának: 1. a tudomány az ember általi felfedezések teremtő folyamata; 2. sok eltérő háttérű kutató járult hozzá a tudomány eredményeihez; 3. a tudomány hatással van életünk szinte minden aspektusára; 4. a tudományos fejlődés gyakran etikai dilemmákat szül (Peterman–Franch–Goodman 2006: 3) – a film magától értetődő módon oktatási célok szolgálatába állítható.

A film kerettörténete a fiatal Einstein életének néhány, az életrajzok által is megörökített pillanatát viszi színre. Megismerjük a rúd mágnessel és iránytűvel játszó gyermeket, a bohém, zürichi egyetemi hallgatót, aki unja a gyakorlati stúdiumokat, ellenben lebilincseli a maxwelli elektrodinamika és annak a fény terjedésére vonatkozó jövődömlése. Kirajzolódik a néző szeme előtt egy fiatal tudós, nem is annyira a szellemi formálódása, mint inkább a fény természetére vonatkozó kérdéstől megbabonázott, makacs elméleti kutatása. Ennek karakterét jól példázza a színre vitt két gondolat kísérlet, melyek arra keresik a választ, hogy mit látnánk, amennyiben egy fényhullám hátán utaznánk. Láthatjuk az ifjú Einsteint mint a berni Szabadalmi Hivatal alulfizetett kishivatalnokát, s elkísérhetjük a szemünkkel egészen a siker kapujáig. Einstein életében kiemelkedő jelentőségű volt az 1905-ös esztendő, így természetes, hogy a film is ezeket a hónapokat állítja a középpontba, amelyhez a múlt eseményei közelítenek, a jövő eseményei pedig innen nyerik az értelmüket.

A múlt eseményeinek irányított jellege egyaránt igaz Einstein személyes életére, illetve mindazokra a tudománytörténeti epizódokra, amelyeknek köszönhetően felhalmozódott az a tudás, amelyet Einstein az 1905-ös évben összegezni fog. A film végén pedig a „nagy bumm” elmélet úgy kerül bemutatásra, mint a kozmosz keletkezésének Einstein tanítása alapján elképzelhető folyamata. A film saját tudománytörténeti példatára a következő: 1. Michael Faraday (19. század) – az elektromágneses mező, a fény mint elektromágneses hullám, valamint az energia fogalma mint általános magyarázóelv; 2. Antoine de Lavoisier (18. század második fele) – a zárt rendszer fogalma, az anyagok átalakítása, a tömegmegmaradás elve; 3. Émilie du Chatelet (18. század első fele) – a mozgó testek energiájának mennyiségi meghatározása; Lise Meitner és Otto Hahn (20. század első fele) – atomszerkezeti elképzelések, izotópelemek, radioaktivitás, atommaghasadás.

2. Elméleti reflexiók

A film által színre vitt témák és az egyes szituációk megformálása egyaránt lehetőséget teremt az alkotás szűken értett tanító jellegén való túllépésen, amivel a tudománytörténeti és tudományfilozófiai viták közegében találjuk magunkat. Az oktatás tartalmi céljait megőrizve kísérrelhető meg a hallgatók tudományfejlődéssel kapcsolatos ún. naiv szemléletének a formálása.

2.1. A tudományos eredetiség kérdése

Simonyi Károly megjegyzi (Simonyi 1986: 375), hogy a lexikonokban, a nagyközönségnek szóló munkákban, de még olykor a fizikakönyvekben is egyedül Einstein van megemlítve a relativitáselmélet megalkotójaként. Ezt látszik alátámasztani, hogy Einstein az 1905-ben az *Annalen der Physik* című szakfolyóiratban publikált *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (A mozgó testek elektrodinamikájáról) című írásában nem hivatkozik előzményekre, viszont az inerciarendszerek koordinátáit összekapcsoló egyenleteket mégiscsak Lorentz-transzformációnak nevezik. Sőt, olyan értékelések is léteznek, amelyek kétségbe vonják Einstein hozzájárulásának a jelentőségét.

Simonyi három kutatót jelöl meg, akik a speciális relativitáselmélet terén jelentőset alkottak. Hendrik Lorentz, Henri Poincaré és Einstein eredményeinek az összevetéséről van szó (Simonyi 1986: 375–386). Simonyi *A fizika kultúrtörténete* című nagy művében nem vitatja el Einstein munkájának az originalitását, hanem akként érvel, hogy Einstein volt hármuk közül az egyetlen, aki valójában szakított a newtoni abszolút idő és abszolút tér hagyományos, a mindennapi gondolkodás számára magától értetődő fogalmaival. További fontos szempont, ami Einstein mellett szól, hogy a Lorentz-transzformációt nem az elektrodinamika alapegyenleteiből vezette le, hanem abból az egyszerű, ám annál inkább szokatlan megfontolásból, hogy a fénysebesség nem függ a fényforrás mozgásállapotától.

Novobáztzy Károly Einstein *A speciális és általános relativitáselmélet* című írását tartalmazó kötethez írt *Bevezetés*ben egyértelműen Einsteint ünnepli mint megalkotót, nem említve Lorentz és Poincaré hozzájárulását a speciális relativitáselmélet megszületéséhez. Einstein visszaemlékezése, mi szerint egyáltalán nem ismerte Poincaré ezirányú munkásságát, valamint Lorentz 1895 utáni munkáit (Simonyi 1986: 383), elfogadhatóvá teszi ezt a megközelítést, melyet árnyal Novobáztzy az a későbbi megjegyzése, hogy „[f]izikus körökben elterjedt vélemény, hogy ha nem Einstein alkotta volna meg a speciális relativitás elméletét, a sürgető tudományos szükséglet következtében (...) más valaki fedezte volna fel” (Novobáztzy 1965: 7). Ez a megjegyzés értelmezhető akként, mint ami utat nyit a Simonyi által felvázolt tudománytörténeti megközelítés felé, miként az sem zárható ki, hogy egy új „Einstein” megszületését jövendölte meg. Tautológiaként értékeli viszont, hogy Einstein külön elvként is kimondta a fénysebesség állandóságát, hiszen az a Maxwell-egyenletekből is következik – vitatva ezzel Einstein önértékelését a speciális relativitáselmélet területén végzett munkájának originalitásáról (Novobáztzy 1965: 6–7).

2.2. A tudományos felfedezés aktusa

Roland Barthes az *Einstein agya* című rövid írásában az Einstein személyéhez kapcsolódó mitologikus elképzeléseket bemutatva leszögezi, hogy a tudományos kutatás folyamata egy bonyolult mechanikus szerkezet működtetéséhez hasonlítható, míg a felfedezés mágikus jellegénél fogva egyszerű, akár a bölcsök köve (Barthes 1983: 100). Novobáztzy Károly Einstein munkamódszerét a szöveg alapján rekonstruálva a logika és az intuíció „vetélkedő előretörését” pillantja meg (Novobáztzy 1965: 6). Polányi Mihály tudományfilozófiai vizsgálódásai pedig a felfedezés hasonló szerkezetét tárták fel, mint a Barthes által említett mágikus jelleg.

Polányi a tudomány művelését a természetben fellelhető dolgok bizonyos módon való látásának tekinti, hiszen a tudós megpillantja a koherenciát olyan esetekben is, amikor a laikus még a rend nyomait sem érzékeli. A felfedezést pedig egy nehéz észlelési probléma megoldásának mintájára gondolja el, amelynek eredményeképpen a dolgok látásának új helyes módja jön létre (Polányi 1992: 64–65). Ez a képesség azonban nem tekinthető csodásnak a szó szűkebb értelmében, aminek egy sajátos kiválasztottság lenne az előfeltétele.

Az életrajzokból kiderül, hogy Einstein korántsem volt csodagyerek. Megvolt benne azonban a dolgokra való rácsodálkozás képessége. Ilyen feljegyzett eset, amikor az ötéves gyermek az iránytűt figyelve a dolog arcaként felfogott jelenség mögötti titokzatos erő működését sejtje meg (a filmen lásd 20 perc és 4 másodperctől), vagy a tizenhat éves serdülő fiú és a fiatal felnőtt töprengése (a filmen lásd 43 perc és 26 másodperctől, valamint 51 perc és 11 másodperctől) azon a problémán, hogy utolérhető-e a fény, s ha igen, akkor vajon mit látnánk? (Maróti 1965: 136–137). Ezek a példák a problémákra való heurisztikus rátalálás képességéről és a meglelt problémákon való kitartó töprengésről tanúskodnak. Munkájában meghatározó volt a „hallatlan makacosság”, valamint „[m]unkastílusára (...) élete végéig inkább ez volt a jellemző: egyéni tanulás, magányos megküzdés a problémákkal” (Maróti 1965: 137, 152). Az Einstein által kialakított személyes életforma pedig így írható le: „Mindent (...) a munkának rendelt alá. Családi élete – a szó mindennapi értelmében – alig volt, társasági életet nem élt (...) munkájának anyagi alapfeltételei és személyi követelményei alig érdekelték. (...) A harmincas évek közepén, amikor a Németországból a náciizmus elől emigrált tudósok elhelyezéséről volt szó, egész komolyan javasolta, hogy adjanak a fizikusoknak toronyőri állást a világítótornyokban. Véleménye szerint ugyanis egy fizikus számára ez a legalkalmasabb foglalkozás: itt senki sem zavarhatja őt...” (Maróti 1965: 153). Annak a szellemi állapotnak az ismertetéséről van szó, amikor valakinek a gondolatai tartósan egy meghatározott problémára irányulnak, s a probléma teljesen magához láncolja a tudós elméjét, aki nem tud szabadulni tőle, és mindent ennek rendel alá (lásd a filmen 1 óra 7 perc és 53 másodperctől). A tudományos probléma Polányi értelmezésében nem más, mint a természetben megbúvó, rejtett koherencia intenzív előzetes tudása, miközben az intuíció irányítja a sejtések mentén a tudós elméjét, a megoldáshoz pedig egy képzeleti aktus juttatja el (Polányi 1992: 69, 71). A felfedezés így az intuíció és a képzelet összjátékának az eredménye, amely folyamat nem formalizálható, mivel explicit módon nem különíthetők el az egyes lépései. A felfedezés pillanata jellegét tekintve a megvilágosodáshoz hasonló, amikor új rendbe szerveződve tárulnak fel előttünk a természet elemei. (Ennek a szellemi állapotnak a megfilmesítése tekinthető meg 1 óra 11 perc és 13 másodperctől.)

2.3. Einstein felfedezésének pozitivista magyarázata és annak megkérdőjelezése

Fontos kérdésként merül fel annak a tisztázása, hogy Einstein gondolkodása – különösen a relativitáselmélet megalkotása idején –, illetve általánosabb filozófiai világlátása milyen viszonyban áll a pozitivizmussal. Ez a kapcsolat ugyanis meghatározza, hogy Einstein saját értékelését elfogadva milyen tudományfilozófiai keretben kerüljön bemutatásra a relativitáselmélet, ami hivatkozási alappá válhat a tudományfejlődésre vonatkozó különböző elméletek közötti választáskor is. A helyzetet nehezíti, hogy Einstein későbbi reflexiói nem adnak egyértelmű iránymutatást, így a relativitáselmélet különböző interpretációi közötti vitákról beszélhetünk, amelyek – némileg sarkítva – arról szólnak, hogy ki érti félre Einstein eredeti szándékait, s ki nem. Természetesen ez utóbbi kérdés vitathatatlan jelentőséggel bírt Maróti Lajos tanulmányának megírása idején 1965-ben, hiszen az volt a tétje, hogy megvédhető-e Einstein elmélete a hétköznapi értelemben vett relativizmustól és az ún. idealizmustól, s végeredményben mennyire feleltethető meg a dialektikus materializmus tudományos elméletekkel szemben támasztott elvárásainak. Azaz burzsoá tudományként tiltott gyümölcse válik-e azokban az országokban, ahol a marxizmus a nyilvánosságban hivatalos doktrínává lépett elő. Maróti áttekintést ad ezekről a vitákról, a sajátos érvkészlletekről, amelyekről sok esetben úgy érezhetjük, hogy külső szempontokat próbálnak ráerőltetni a tárgyukra (Maróti 1965: 185–198).

Valójában arról a kérdéstről van szó, hogy mennyiben és milyen tekintetben hatott Einsteinre Ernst Mach gondolkodása, radikális empirizmusa, amit tekinthetünk a 19. századi pozitívizmus meggyőződéseinek a fizikára való alkalmazásaként. Miként Simonyi Károly

írja, egy purifikáló mozgalom jelent meg a fizikában a 19. század második felében, amelyik mindennemű metafizikai elemet el akart távolítani a tudás területéről. Ennek a mozgalomnak a keretében értékeli Mach ismeretelméleti munkásságát: „a fizikának nem arra a kérdésre kell felelnie, hogy ’miért’, hanem hogy ’hogyan’; a közvetlenül nem mérhető, nem észlelhető fogalmaknak, jelenségeknek nincs helye a fizikában; a funkcionális kapcsolatok megkeresésénél pedig az ökonómia legyen a vezérelv” (Simonyi 1986: 373). Metafizikaellenes és antirealista irányultságú törekvéstről van tehát szó, melyek szerint a fizikus feladata kimerül a tapasztalati anyag összegyűjtésében és rendszerezésében. Az idősebb Einstein élesen bíráltni fogja ezt a gondolkodási attitűdöt, és valójában a tudománynak ez a felfogása tette bizalmatlanná a tudás végső lehetőségeként felfogott kvantummechanikai statisztikai leírással szemben is (Maróti 1965: 183). Einsteinnek ez a magatartása határozott antipozitivistá beállítottságról tanúskodik. Az önéletrajzi reflexióiban elismeri, hogy a relativitáselmélet megszületésekor erősen hatott rá Mach gondolkodása, annak szkepticismusa a 19. századi, klasszikus mechanika által megalapozott tudományképpel szemben, és ezzel összefüggésben az a képessége, hogy függetleníteni tudta magát ennek a szellemi építménynek a természetes módon adottként való elfogadásától. Einstein világossá teszi, hogy később elutasította a Mach által javasolt tudományfelfogást, de ezt nem vonatkoztatta a korábbi időszakra (Simonyi 1986: 382). Vajon pozitivistá irányultságú volt-e Einstein gondolkodása azokban az években, amikor a relativitáselmélet problémái foglalkoztatták? Amennyiben Polányi Mihálynál keressük a választ, akkor megtudhatjuk, hogy Einstein szellemi teljesítménye éles cáfolatát adja azoknak a próbálkozásoknak, amelyek a speciális relativitáselmélet megszületését a pozitivistá tudományfelfogás keretei között értelmezik.

Polányi közvetítón keresztül levelezésben állt Einsteinnel, aki megerősítette, hogy a fény terjedésére vonatkozó intuitív belátása, mely szerint a fénysebességet nem lehetséges elérni, következképpen a mozgó test sem tudja megelőzni a saját maga által kibocsátott fénysugarat – alapvető jelentőségű volt a későbbi relativitáselmélet szempontjából, miként egy aszimmetriát mutató jelenség is az elektrodinamika területéről. Viszont nem gyakorolt hatást a felfedezésre a Michelson és Morley által 1887-ben végzett, negatív eredményt hozó kísérlet, amelynek során az – éterhez rögzített – abszolút nyugalomban levő vonatkoztatási rendszert feltételezve próbálták kimutatni, hogy a Föld éterhez képesti mozgása miképpen befolyásolja a fénysebességet. Polányi vitatta annak az elképzelésnek a helyességét, mely szerint a relativitáselmélet megalkotása a Michelson és Morley kísérletére adott elméleti válasznak tekinthető. Vitán felüli, hogy Mach gondolkodása inspirálta Einsteint, de vajon Mach intenciói szerint járt-e el, amikor elvetette Newton abszolút tér és abszolút idő fogalmait? Polányi szerint „azt a programot ugyanis, amit Einstein végrehajtott, nagyrészt az a tudományfelfogás vetítette előre, amelyet a maga teljesítményével Einstein oly botránnyosan megcáfolt” (Polányi 1994: 32). Polányi is elismeri tehát Mach hatását, azt viszont nem, hogy Einstein Mach pozitivismusának a szellemében járt volna el. Mach szerint ugyanis az abszolút nyugalomban levő tér tapasztalatilag nem ellenőrizhető, ezért egy dogma, egy metafizikai tantétel rangjára van emelve, s mivel nem következik semmi tapasztalatilag ellenőrizhető tény a tételezéséből, ezért értelmetlen. Polányi ezt az utóbbi momentumot vitatja, mivel Einstein szerinte megcáfolta Newton téves térfelfogását a fényterjedésre vonatkozó, intuíció által vezérelt, spekulatív vizsgálódásából kiindulva. Mintegy intuitíve felismerve, hogy a fénysugár sebessége független a fényforrás mozgásállapotától. Ez a felismerés teszi lehetővé a newtoni térkonceptió ellenőrizhetőségét, amiből viszont az következik, hogy Newton elképzelése nem értelmetlen, hanem téves (Polányi 1994: 33).

Polányi úgy értékeli Mach hatását, hogy ösztönzője volt az érzések bizonyosságán túllépő, tiszta – matematikai – racionalitáson alapuló elmélet megalkotásának. A természetben rejlő racionalitás meglátásáról van szó, s nem csupán a számításokat megkönnyítő, ontológiai

„Kizökkent világ” – Szokatlan és különleges élethelyzetek: a nem-konvencionális, nem “normális”, nem kiszámítható jelenségek korszaka?

XXIV. Apáczai-napok Tudományos Konferencia tanulmánykötete

vonatkozással nem rendelkező számítási módszer bevezetéséről. A spekulatív, matematikai megismerés által feltárt racionalitás felsőbbrendű az érzékek által közvetített racionalitásnál. Ezzel van összefüggésben a relativitáselmélet szépsége és meggyőző ereje. A matematika ismeretelméleti státusza megváltozik, s inkább hasonlít az archaikus püthagoreus felfogáshoz, mint arra a matematika-felfogásra, amely a matematika szerepét a természet – kozmosz – megismerése során az empirikus törvények megfogalmazásában játszott szerepre korlátozza (Polányi 1994: 28). Ez a felfogás vitán felül élesen szemben áll a tudomány machi, pozitivistá felfogásával.

Összegzés

A bölcsélet történetére, így a tudományra vonatkozó filozófiai reflexióra is igaz, hogy a diskurzus kontinuitását az egymással vitázó álláspontok szünni nem akaró perlekedése tartja fenn. Érdemes tehát jelezni, hogy az utolsó szó jogát senki sem vindikálhatja magának, még akkor sem, ha mélységesen meg van győződve az igazáról. Székely László a *Geometriai fantáziák a modern fizikában* című írásában ellentétesen értékeli mindazt, amit Polányi a matematikai megismerés kapcsán olyannyira fontosnak tart, ami nem más, mint a lehetséges tapasztalatok körén túllépő megismerés valóságának s ezzel a megismerés metafizikai karakterének az elfogadása. Bár Polányi feltételezi a kapcsolatot a tapasztalat és azon ismeretlen – ám intuitív módon már előzetesen tudott – között, amire a vizsgálódó figyelem irányul, de a megismerés eredményét nem rendeli alá a tapasztalatok közvetlen kontrolljának, ami azt jelenti, hogy az elmélet igazolása hasonló intellektuális képességet igényel, mint a felfedezés. Székely a speciális relativitáselmélet és a Minkowski-féle téridő kapcsán éppen a geometriai konstrukció mint eredendő valóság platonikus metafizikáját bírálja, amelyhez képest alárendelt helyzetbe kerül a mindennapi tapasztalat, ugyanis a speciális elmélet egyenleteinek geometriai ábrázolása „az elmélet szempontjából teljesen fölösleges volt, és ahhoz – a szellemes ábrázoláson, illetve a matematikai formulák és a geometriai összefüggések közötti érdekes megfelelés fölfedezésén kívül – semmivel sem járult hozzá” (Székely 2010: 68–69).

Amennyiben azonban oktatási célok motiválják a relativitáselmélet tárgyalását, és nem fizikus hallgatók körében kell megpróbálni eredményt elérni, úgy egy olyan egyensúly elérése tűnik célravezetőnek, amely felé haladva lehetőség nyílik a tudományos viták természetének bemutatása mellett annak a körüljárására is, hogy évszázadokon átívelve miként gyarapodik a tudás. Ennek a képnek az előterében talán a relativitáselmélettel összefüggésben elhangzottak a didaktzis megkövetelte lekerekítésnek köszönhetően is elsajátításra érdemes és tanulságokat hordozó tudáselemként jelennek meg.

Köszönetnyilvánítás

Az írás megszületése idején a Debreceni Református Hittudományi Egyetem kutatásfinanszírozási támogatásában részesültem (szerző).

Irodalom

- Barthes, R. 1983. Einstein agya. In: Barthes, R. (szerk.) *Mitológiák*. Budapest: Európa Könyvkiadó, 97–100.
- Einstein, A. 1965. A speciális és általános relativitás elmélete. In: Maróti L. (szerk.) *Albert Einstein: A speciális és általános relativitás elmélete*. Budapest: Gondolat Kiadó, 9–131.
- Johnstone, G. (rend.). 2005. *Einstein's Big Idea. Understand the Equation that Changed the World*. (Einstein nagy ötlete). Dokumentumdráma. Nova Production, PBS International. <https://www.youtube.com/watch?v=fyn1I-viYPw> (letöltve: 2020.12.19.)
<https://www.youtube.com/watch?v=8k1FIDkDQ60> (letöltve 2020.12.19.)

„Kizökkent világ” – Szokatlan és különleges élethelyzetek: a nem-konvencionális, nem “normális”,
nem kiszámítható jelenségek korszaka?

XXIV. Apáczai-napok Tudományos Konferencia tanulmánykötete

- Maróti L. 1965. Utószó: Albert Einstein (1879–1955). In: Maróti L. (szerk.) *Albert Einstein: A speciális és általános relativitás elmélete*. Budapest: Gondolat Kiadó, 133–204.
- Novobátzky K. 1965. Bevezetés. In: Maróti L. (szerk.) *Albert Einstein: A speciális és általános relativitás elmélete*. Budapest: Gondolat Kiadó, 5–8.
- Peterman, K.–Franich, K.–Goodman, I. F. 2006. *Summative Evaluation of Einstein’s Big Idea*. Goodman Research Group, Inc.
https://www.informalscience.org/sites/default/files/report_194.PDF (letöltve: 2020.12.19.)
- Polányi M. 1992. A teremtő képzelet. In: Nagy E.–Újlaki G. (szerk.) *Polányi Mihály filozófiai írásai I.* Budapest: Atlantisz Könyvkiadó, 60–82.
- Polányi M. 1994. *Személyes tudás I.* Budapest: Atlantisz Könyvkiadó.
- Simonyi K. 1986. *A fizika kultúrtörténete* (3. átdolgozott kiadás). Budapest: Gondolat Kiadó.
- Székely L. 2010. Geometriai fantáziák a modern fizikában. *Helikon* 56 (1–2. sz.): 62–76.
- Ternovszky B. 2007. *Macskafogó 2. – A sátán macskája*. (Sanitarium scene)
<https://vimeo.com/298422773> (letöltve: 2020.12.19.)