

A relativitáselmélet, a kvantummechanika és a „józan ész”*

Az a megkülönböztetés, hogy milyenek a dolgok magukban, és miképpen jelennek meg számunkra, két eltérő megkülönböztetésre válik szét: egyrészt arra, hogy mi az, ami a világról igaz, és mi az, ami csak annak tűnik, de ténylegesen nem igaz; másrészt arra, hogy mi tekinthető a leírás abszolút, és mi relatív formájának. (Michael Dummett 1979. 16.)

I. BEVEZETÉS

1. A relativitás elmélete, a kvantummechanika és a mindennapi gondolkodás

Általánosan elterjedt vélekedés, mondhatnánk „közhely”, hogy a relativitás elmélete és a kvantummechanika nem felel meg sem a mindennapi gondolkodás szemléletes képzeleinek, sem a klasszikus fizika szemléletmódjának. Ez az állítás gyakran csak figyelmeztetésként hangzik el: ha meg akarjuk érteni a modern fizika elméleteit, nem szabad a fizikai világgal kapcsolatos hagyományos fogalmakban és a természettel kapcsolatos szemléletes képzeinket követve gondolkodnunk. Így Niels Bohr megfogalmazásában a kvantummechanikával foglalkozva „[f]öl kell készülnünk arra, hogy elkerülhetetlen lesz egyre megszébbre menően elvonatkoztatnunk a természet leírásának szemléletességével szemben megszokott követelményünktől” (Bohr 1930. 9), ahol persze a szemléletességtől való elvonatkoztatás ártatlannak tűnő követelménye többek között azt jelenti, hogy a mikrofizikai létezők esetében nincs értelme sem annak, hogy azok egy adott helyen nyugalomban vannak, sem annak, hogy ugyanitt egy meghatározott, konkrét sebességgel mozognak. De hasonló figyelmeztetést olvashatunk Landaunál és Lifsicnél is, amikor arról írnak, hogy „az Einstein-féle relativitási elv az alapvető fizikai nézeteink lényeges megváltoztatásához vezet.

* A jelen tanulmány az NKFI/OTKA kutatási programjainak a keretében íródott (K 134638; K 132911).

A mindennapi tapasztalat alapján alkotott fogalmaink a térről és az időről csak közelítőleg érvényesek.” (Landau–Lifsic 1976. 14.) E visszafogott figyelmeztetésekkel szemben máskor ez az állítás a józan ész és a hagyományos gondolkodást elmarasztalva a tudományos haladás vívmányként fogalmazódik meg – F. Denton egyenesen úgy fogalmaz, hogy a relativitás elméletével a tények „diszkreditáltak” a józan ész (Denton 1924. 3) –, és az ilyen kijelentések gyakran azzal az állítással párosulnak, hogy a modern fizika nyomán a filozófiai kategóriák egy részét – különösen a teret, az időt, az okságot és a determinizmust – újra kell gondolni.

Természetesen a modern fizikával kapcsolatos előbbi kijelentésekből nem következik az, hogy a klasszikus fizika szemléletes és közérthető, volna. Vitathatatlan tény, hogy már a newtoni fizika megértése-befogadása is bizonyos neveltetést, illetve műveltséget kíván, mely kiemeli a befogadót a mindennapok világából, illetve a természetes, „életvilágbeli” beállítódásából. Ám nehezen tagadható, hogy a klasszikus fizika ennek ellenére a mindennapi tapasztalatban adódó – más terminológiával az „életvilágbeli” – élményeken alapuló képzeteket és fogalmakat emelte be a tudományba; ezekre építette föl elméleteit. S ez azután is így maradt, hogy bevezette az elektromágneses erőtér (mező) fogalmát, mely messze túllép e tapasztalaton: a 19. század végi fizika továbbra is a mindennapi képzeteken nyugvó modellekre törekedett, s ez még a kvantummechanikát közvetlenül megelőző 20. század eleji Bohr-féle atommodellt is jellemezte. *Így a klasszikus fizika fogalmai annak ellenére sem ütköznek a mindennapi gondolkodás fogalmaival és szemléletével, hogy mint elmélet messze túllép ezeken.* Platón Menónjára gondolva: a mindennapi gondolkodásból ugyanúgy van átvezetés a klasszikus fizikába, mint amiképpen a rabszolgaifü értelme is megnyitható a mindennapi képzeteken túllépő geometria felé. A relativitás elméletét, a kvantummechanikát – de általában, az egész modern fizikát is – viszont *nem csupán a mindennapi gondolkodást meghaladó elvonatkoztatás és az ezen nyugvó matematizálás jellemzi, hanem ezen elméletek egyes képzetei és állításai kifejezetten szemben állnak a mindennapi gondolkodással és az életvilágbeli tapasztalattal.* Bohrnak, Dentonnak, Landaunak és Lifsicnek főntebb idézett szavai erre utalnak.

2. A jelen tanulmány programja

A klasszikus fizika fogalmai és a mindennapi gondolkodás természetesen nem azonos azzal, amit a filozófiában meghonosodott *sensus communis*, illetve magyar megfelelője, a *józan ész* terminusa jelent. (A *sensus communis* különböző filozófiai fogalmairól lásd a *Magyar Filozófia Szemle* jelen számának többi tanulmányát.) Ám a térrel, az idővel, a mozgással és a nyugalommal, vagy a determinizmussal kapcsolatos hagyományos képzetek és fogalmak a mindennapi élettapasztalatból fakadnak, és az emberiség egészséges többségének gondolkodását évszá-

zadok óta, a kultúrák függvényében ugyan különbözőképpen megjelenve, de hasonló tartalommal jellemzik. S hasonló igaz az olyan elképzelésekre is, mint-hogy egy-egy fizikai létező minden esetben tőlünk független, jól meghatározott hellyel, a környezetéhez képest jól meghatározott nyugalmi állapottal vagy mozgási sebességgel, továbbá alakkal, súllyal, anyagmennyiséggel stb. rendelkezik, ha pedig egy óra lassabban jár, mint a másik, akkor a másik gyorsabban jár nála. S nehéz volna tagadni, hogy mindezek érvényesülése részét képezi a közös vélekedésnek és a józan ítéletalkotásnak, aminek nyomán – többek között Dentont, Nicholas Maxwellt és Michael Dummett-et követve – indokoltnak tűnik a *sensus communis* különböző értelmezései és fölfogásai közül e terminusnak egy olyan értelmezését használni, melyhez ezek a mozzanatok is hozzátartoznak.

Tanulmányomban elsődlegesen amellett érvelek, hogy a modern fizika két nagy elmélete nem a fizikai tapasztalatból nyert ismeretekből fakadó kényszer miatt, s így nem elkerülhetetlenül ütközik a klasszikus fizika szemléletével, hanem e konfliktus alapvetően a fizikai tapasztalatra vonatkozó elméletek filozófiailag is motivált értelmezésétől függ. Így érveink helyes vagy helytelen volta független attól, hogy e tekintetben utalunk-e vagy sem a *józan ész*re. Ugyanakkor e terminusnak az előbbieken jelzett értelemben vett használta elmélyíti vizsgálódásunkat, amennyiben világossá teszi, hogy az általunk kritikailag vizsgált nézet szerint a modern fizika jellegének újdonsága nem csupán abban rejlik, hogy a Galileitől Einsteinig vezető időszakban kialakult fizikai világképet átalakította, hanem egyúttal abban is, hogy radikálisan megváltoztatta a *mindennapi gondolkodás és a fizika tudományának viszonyát*, s ezért azok a nézetek, melyek a modern fizika és a mindennapi gondolkodás konfliktusát csupán az új fizikai képzetek szokatlanságának tulajdonítják – mint amiképpen ezt például Hermann Bondi teszi *Relativitás és józan ész* című könyvében (Bondi 1962. 61–69) – trivializálják e megváltozott viszonyt. (Vö. még pl. Székely 2007. 133–141.)

Mármost, akár a szokatlanságra, akár mélyebb okokra vezetjük is ezt vissza, tagadhatatlan, hogy Einstein relativitáselmélete és a kvantummechanika uralkodó értelmezéseinek egy része (így különösen a már klasszikusnak tekinthető koppenhágai interpretáció) elsősorban éppen a mindennapi gondolkodáshoz való új viszonyban különbözik a klasszikus fizikai elméletektől. *Az erre vonatkozó vélekedés azonban annak elterjedt, közhelyszerű formájában leegyszerűsítő; és elfedi azt az igen bonyolult és kifinomult fogalmi, módszertani, ismeretelméleti és ontológiai problémakomplexumot, melyeket ezek az elméletek fölvetnek.* E leegyszerűsített kép pedig reflektálatlan dogmaként uralja a művelt rétegek gondolkodását, és a 20–21. századi kultúra szerves elemévé válva megerősíti e kultúra számos kiváló 20. századi gondolkodó – közöttük Husserl, Heidegger vagy a relativitás elméletével közvetlenül is konfrontálódó Bergson (vö. Bergson 1922/1923) – által bírált szcientista tendenciáját.

Mielőtt továbblépnénk, meg kell említenünk, hogy a filozófiai irodalom elsősorban az általában vett fizikának és a józan észnek – tehát nem speciálisan a

modern fizikának és a józan észnek – viszonyát tárgyalja, s ennek során a fizikai leírás terminusainak a mentális élményekhez (paradigmatikus példaként a színélményekhez) való viszonyára koncentrálnak (vö. pl. Maxwell 1966; Dummett 1979). Az általunk itt tárgyalt problémakör speciális aleseete ennek a most jelzett általánosabb filozófiai kérdéskörnek, melynek vizsgálatára ugyanakkor a tárgykör eddigi megközelítései nem alkalmasak. Mivel most a klasszikus és a modern fizika közötti különbség megvilágítására törekszünk, elemzésünket nem illesztjük bele ebbe az általános kontextusba, hiszen ez fölöslegesen bonyolultabbá tenné és terjedelmében megnövelné azt.

Tanulmányunkban az *ontológiai* helyett az *ontikus* kifejezést használjuk, jelezve ily módon, hogy vizsgálódásunk sehol sem irányul magára a *létre* vagy a *lét megértésére*, hanem csupán a fizikai létezők ontikus státuszára, illetve jegyeire, s ennyiben vizsgálódásunk csupán a heideggeri értelemben vett partikuláris ontológiák körébe tartozik. Elemzésünk továbbá azon a fizika filozófiájában jól ismert, de a fizikusok egy része által előszeretettel figyelmen kívül hagyott tényen alapul, hogy a matematikai-fizikai elmélet (beleértve ebbe az empirikus vonatkozású paraméterek operacionális definícióját is), valamint annak fizikai-fogalmi értelmezése különbözik egymástól, és ezen utóbbiba általában belejátszanak a világnézeti-filozófiai preferenciák.

II. A RELATIVITÁS ELMÉLETE ÉS AZ ÓRÁK

Elsőként a relativitás elméletével foglalkozunk – mégpedig anélkül, hogy a középiskolai fizika legminimálisabb fogalmainál többet használnánk föl. Ennek részeként az órák tárgyalásakor eltekintünk a gravitációs erőtértől – azaz a speciális relativitás elméletének keretében mozgunk. Következtetéseink azonban érvényesek lesznek az általános elméletre is.

1. Az „idő relativitása” és az órák

A speciális relativitáselmélet szemléletét mind a népszerűsítő irodalomban, mind a fizikai előadások többségében elsődlegesen azért minősítik a hagyományos gondolkodással ellentétesnek, mert úgymond az idő „relatív” voltát állítja, azaz azt, hogy az „idő” a relatív mozgás függvényében az állónak tekintett megfigyelő „idejéhez” képest „lelassul”. Ez a ma uralkodó szóhasználat azonban már fogalmilag erősen terhelt. Elég elővenni Einstein klasszikus tanulmányát, hogy ezt nyilvánvalóvá tegyük. A vonatkoztatási rendszerek relativitását és a fény üres térben változatlan terjedési sebességét megkövetelő két nevezetes posztulátum mellett Einstein elmélete az egyidejűség és a szilárd test fogalmára építkezik, s a fizikus ezek közül az előbbit a következőképpen definiálja:

Azt kell szem előtt tartanunk, hogy mindazok az ítéleteink, amelyekben az idő szerepet játszik, mindig *egyidejű eseményekre* vonatkozó ítéletek. Amikor például azt mondom: „A vonat 7 órakor érkezik”, ez a következőt jelenti: „Az a két esemény, hogy órák kismutatója 7 órát mutat, és a vonat megérkezik, egyidejű.”

Úgy tűnik, az „idő” definícióját illetően minden nehézség megszüntethető azzal, hogy az „idő” helyébe az „órák kismutatóját” helyettesítjük. (Einstein 1905/2015. 83–84.)

Ez a gondolatmenet mindenki számára érthető, és bizonyos értelemben fontosabb, mint az elmélet matematikája, hiszen ez az utóbbi éppen az itt szereplő meghatározáson alapul, és e meghatározás adja meg fizikai jelentését. S mivel az általános relativitás elmélete a speciális relativitás elméletének kiterjesztése, az egyidejűség és az egyenletekben szereplő időparaméter értelmezésének tekintetében ez igaz az általános elméletre is.

Ha a filozófia szempontjából tekintünk erre az elemzésre, az megfelel a legszigorúbb elvárásoknak – a jelen sorok írójában egyenesen Wittgenstein második alkotói korszakát idézi föl. A fizikus itt a matematikai fizikában szereplő ‘t’ paraméter és a hozzá kapcsolódó ‘idő’ szó jelentését alapozza meg a mindennapi élettapasztalat alapján. De fogalmazhatunk úgy is, hogy elmélete kifejtése előtt a fizikai idő fogalmát visszavezeti az életvilágra (vagy a választott fogalomhasználatától függően a környezeti világra). A két nagy klasszikus újkori filozófiai időfogalom, a leibniziánus és a newtoniánus időfogalom perspektívájában pedig egyértelműen a leibnizi relacionista időfogalom mellett teszi le a voksot, és példázatával a newtoni időfölfogás kritikáját nyújtja. Wittgenstein, az életvilág (Husserl), a környezeti világ (Heidegger), továbbá a leibnizi időfogalom mellett megemlíthető az is, hogy Moritz Schlick kifejezetten hivatkozik erre a szövegrészre, és azt a Bécsi Kör programját megalapozó elemzésnek tekinti (vö. Schlick 1917. 51–63; Schlick 1972), ami persze nem véletlen: Einsteinre alkotói munkásságának korai szakaszában komoly hatással volt Ernst Mach filozófiája, míg a Bécsi Kör hivatalos neve: *Ernst Mach Verein*.

Einstein fönti elemzését az „életvilág” fogalmával társítottuk, s azt, hogy ez nem önkényes belemagyarázás, tanúsítja Einstein egyik későbbi megjegyzése a fizikai fogalmak eredetéről, melyben ugyan nem használja e kifejezést, de „átélésről” ír:

A fogalmak csak azáltal nyerhetnek tartalmat – bármennyire közvetetten is –, hogy az érzékekhez kapcsolódnak. Ezt az összekapcsolódást logikai vizsgálódással nem lehet földéríteni; csupán *átélni* lehet. Mégis éppen ez az összefonódás határozza meg a fogalomrendszereknek az ismeretek szempontjából való értékét. (Einstein 1930/2005. 174. Kiemelés tőlem.)

Bár a fizikus – legalábbis nyelvezetében – később nem mindig követte az itt ki-rajzolódó fogalmi tisztaságot, és a fizika fogalmainak a mindennapi élettel való

ezen összekapcsolását, sosem szakított teljesen e megközelítéssel: ismeretelméleti írásaiban újra és újra ez a szellemiség rajzolódik ki, mégpedig annak ellenére is, hogy később Ernst Mach ismeretelméletét egyoldalú empirizmusa miatt kritizálta.

2. Az órák ütemsebességéről általában

Könnyű belátni, hogy Einstein elemzését követve az „idő relativitása” kifejezés az órák működésének, az órák ütemsebességének relativitásává „szelídül”.

Ez azonban nem jelenti azt, hogy megszűnne a konfliktus az elmélet és a hagyományos gondolkodás között. E tekintetben már az órák természeti törvény szerinti lelassulását is furcsának lehet tekinteni, hiszen a hozzánk képest viszonylagosan mozgó órák lelassulása kifejezetten idegen tapasztalatunktól, és ellentmond hagyományos órafogalmunknak. A következőekben azt kívánjuk megmutatni, hogy a relativitás elméletében ennél jóval többről van szó.

Ha ugyanis egy rugós, fogaskerekes órát sűrű folyadékban helyezünk el, az lelassíthatja működését. Sőt, a klasszikus órajavítás egyik feladata éppen az órák belső megtisztítása volt a működésüket zavaró szennyeződésektől. Önmagában tehát az órák lelassulásának képzete jól megfér mindennapi tapasztalatunkkal. Ez a mindennapi tapasztalat pedig kiterjeszhető oly módon, hogy föltételezünk valamilyen fizikai háttérközeget, amely – szemben a spontán szennyeződésekkel, matematikailag kifejezhető természeti törvény szerint – annál inkább lelassítja a hozzá képest mozgó óra járásának ütemét, minél gyorsabban mozog az hozzá képest. E föltevés szerint tehát egy fizikai létező, a föltételezett fizikai háttérközeg, fizikai hatással van egy másik fizikai létezőre: a benne mozgó órára. Ha egy óra ehhez a közeghez képest gyorsabban mozog, mint a mi óránk, hozzánk képest is mozogni fog, és járása a mi óránk járásához képest lassabb lesz. S bár a hozzánk képest mozgó óra e lelassulása szokatlan mindennapi tapasztalatunk számára, végül is nem elképzelhetetlen, s így ugyanúgy megszokottá és természetessé válhat, mint ahogyan a kezdetben szokatlanok és furcsának tűnő, és ezért a többség által elutasított kopernikuszi világmép napjainkra magától értetődővé vált.

Bár az órák járásának üteme már a most vázolt fölfogásban is relatív, az az állítás, hogy melyik óra jár lassabban a másikhoz képest, minden viszonyítástól függetlenül azonos. Így ha István órája gyorsabban mozog a háttérközeghez képest, mint János órája, relatív ütemsebességükre a következő két állítás lesz igaz:

- (a) János órája gyorsabban jár, mint István órája;
- (b) István órája lassabban jár, mint János órája.

Nyilvánvaló, hogy az órák ütemsebességének, azaz „járásának” viszonya már ebben a mindennapi gondolkodás számára szokatlan, de vele mégis összeegyeztethető esetben is relatív: egy óra ütemsebessége „lassúságának” vagy „gyorsaságának” csak egy másik óra ütemsebességéhez viszonyítva van értelme.

A következőkben azt fogjuk megmutatni, hogy a relativitás einsteini elméletében ennél a „triviálisnak” nevezhető relativitásnál *jóval többről* van szó.

3. A relativitás elve

Einstein relativitáselméletének egyik kiinduló követelménye („posztulátuma”) a vonatkoztatási rendszerek fizikai egyenrangúsága, vagyis az az állítás, hogy a fizika törvényei minden vonatkoztatási rendszerben azonosak. A vonatkoztatási rendszer fogalma a fizikában nem járatos olvasók számára már erős szakmai fogalom, amit Kopernikusz Vergiliustól származó ismert, de Galileinek tulajdonított példájával a következőképpen szemléltethetünk: Ha egy hajó simán siklik tova, a szűk hajóablakon át kitekintve úgy tűnhet, mintha a part haladna el mellettünk. Napjainkban ilyen jelenséget leggyakrabban a vonatban ülve tapasztalhatunk, ha az egy mellettünk lévő álló vonat mellett halad el. E példákban a hajótér és a vonatfülke a klasszikus fizika tekintetében a Galilei-féle, míg a relativitás elméletében a speciális relativitáselmélet szerinti vonatkoztatási rendszernek felel meg. Persze, ha a vonat hirtelen gyorsul vagy lassul, a tárgyak előre- vagy hátrazuhanhatnak, s ekkor tudjuk, hogy a mi vonatunk mozog, ám a vonatfülke ebben az esetben is vonatkoztatási rendszernek tekinthető. A speciális relativitás elmélete csak azokkal az esetekkel foglalkozik, ahol nincsenek a gyorsításkor vagy lassításkor föllépő jelenségekhez hasonló jelenségek, azaz ahol nem keletkeznek tehetetlenségi erők (vö. Einstein 1905/2005). Így a speciális egyenrangúság elve kis sebességek esetén megegyezik az egyenesen mozgó járműben szerzett mindennapi tapasztalatunkkal. Azzal, hogy a gyorsuló vagy fékező vonat rendszere miképpen lehet általánosan is egyenrangú más rendszerekkel, itt nem foglalkozhatunk. Számunkra elég az a logikai evidencia, hogy ha a vonatkoztatási rendszerek speciális egyenrangúságának a követelménye megsérül, akkor ezzel értelemszerűen az általános egyenrangúságra vonatkozó követelmény is sérül. (Az általános követelményről lásd pl. Einstein 1916. 769–777.)

A következőkben erre a követelményre mint a „relativitás követelményére” vagy mint a „relativitás elvére” hivatkozunk.

Nem kevésbé fontos ugyanakkor, hogy Einstein elméletének van még egy posztulátuma: eszerint a fény terjedési sebessége vákuumban egyetemes természeti állandó. A fizikus azután e két posztulátumból vezeti le a két nevezetes relativisztikus effektust: a testek – így a mérőrudak – méretének relatív mozgásuk

irányában történő relativisztikus összehúzódsát, valamint a mozdulatlanak tekintett órához képest relatíve mozgó hasonló konstrukciójú órák ütemének relativisztikus lelassulását.

4. Az órák ütemsebessége a relativitás einsteini elméletében

Előbbi példánkban azt tettük föl, hogy János lassabban mozog a háttérközeghez képest, mint István, s ennek következtében órájának üteme a választott vonatkoztatási rendszertől függetlenül és ebben az értelemben „abszolút” módon gyorsabb, mint István azonos fizikai fölépítésű órája, ami azt jelenti, hogy János és István vonatkoztatási rendszerében az órák járásának tekintetében eltérő fizikai törvények érvényesek (aminek következtében például az elektrodinamika törvényei is függeni fognak az éppen adott vonatkoztatási rendszertől). Ez viszont Einstein elméletében nem lehetséges, hiszen ezt kizárja a relativitás követelménye. Így ebben az elméletben, ha Jánost tekintjük nyugalomban lévőnek, akkor

(a) István órája lassabban jár János órájánál;

ha viszont Istvánt tekintjük nyugalomban lévőnek, arra kell következtetnünk, hogy

(b) János órája jár lassabban István órájánál.

Az órák ütemének előbb általunk triviálisként jellemzett relativitásával szemben tehát Einsteinnél *nemcsak az órák ütemsebessége relatív, hanem az is, hogy melyik óra a lassabb, és melyik a gyorsabb. Vagyis az egymáshoz képest mozgó órák Einstein elméletében szimmetrikusan lassulnak le egymáshoz képest*: ha két egymáshoz képest mozgó megfigyelő egyikének a saját órájához képest a másik órája lassabban jár, akkor a másik megfigyelő saját órájához képest az első megfigyelő ugyanazon órája szintén lassabban fog járni. Mármost az (a) és (b) állítás közötti látszólagos ellentmondás azzal kerülhető ki, hogy (a) János mértékrendszerében, azaz *az ő vonatkoztatási rendszerében, az ő szempontjából igaz, de nem igaz István mértékrendszerében, azaz az ő vonatkoztatási rendszerében, az ő szempontjából*. S megfordítva: a (b) állítás csak István vonatkoztatási rendszerében áll fenn.

5. Az órák ütemsebességének einsteini relativitása és a mindennapi tapasztalat

Az előbbi (a) és (b) állítás egyidejű fönnállása – azaz a relativisztikus óralassulás szimmetrikus volta – ugyanakkor önmagában még összebékíthető a mindennapi gondolkodással. Ennek megvilágítására tekintsük a következő példát: Ha Jánosnál és Istvánnál is van egy méterrúd, és távolból szemlélik egymást, igaz lesz a következő:

(a)' János perspektívájában az Istvánnál lévő méterrúd a rövidebb.

(b)' István perspektívájában a Jánosnál lévő méterrúd a rövidebb.

(a)' és (b)' ugyanúgy csak relatíve igaz állítások, mint (a) és (b), amennyiben nemcsak a rudak egymáshoz mért hossza relatív, hanem maga e viszony is. Mégsem jutunk logikai ellentmondáshoz, s ennek kulcsa az, hogy különböző perspektívákról van szó. Az (a) és (b) állítás egymáshoz való viszonya pedig párhuzamos az (a)' és (b)' állítás egymáshoz való viszonyával, és így arra való tekintettel, hogy a tárgyak vizuális megjelenésének perspektívafüggettsége mindennapi életünk élménye, *látszólag* az einsteini relatív óralassulás sem ellentétes a mindennapi tapasztalattal, hanem beilleszthető a hasonló élmények sorába. Mert ha az órák járásának relativisztikus lelassulása eddig nem tarozott életvilágbeli élményeink közé, és így az fölöttébb szokatlan állításnak tűnik, ez megindokolható azzal, hogy a relativisztikus lassulás csak nagy sebességek esetén érzékelhető, és így az emberiségnek korábban nem volt módja arra, hogy ilyennel találkozzon. Ám *ez önmagában még* nem zárja ki azt, hogy az erre vonatkozó állítás a hasonló jelenségek – így a perspektivikus rövidülések – mintájára ugyanúgy beilleszthető legyen a mindennapi tapasztalat során kialakult világképünkbe, mint amiképpen ez a napközéppontú kopernikuszi rendszer esetében is megtörtént.

Csakhogy az előbbieken vázolt analógia a perspektivikus zsugorodás és a relativisztikus óralassulás között mégsem áll fönn. A méretek perspektivikus zsugorodása ugyanis mind a mindennapi tapasztalat, mind a fizikai elméletek alapján csupán a távolság következtében, geometriai okok miatt lép föl. Maga e jelenség fizikailag objektív és valóságos (fényképfölvételeken is megfigyelhető), de sem a fizikai elméletek, sem a közgondolkodás szerint nem jár az érintett fizikai létezők – így a példánkban szereplő méterrudak – valóságos összezsugorodásával. A vonatkoztatási pont szempontjából a távoli tárgyak kisebbként jelennek meg, mint az ugyanolyan méretű közelebbi tárgyak, de sem a közgondolkodás, sem a fizika nem állítja azt, hogy e tárgyak valóban, ténylegesen kisebbek volnának. Csupán objektív módon, *valóságosan kisebbként jelennek meg, de nem válnak kisebbé.*

Első közelítésben úgy tűnik, hogy a relativitás elmélete esetében is érvelhetünk így. Mivel az órával együtt utazó személy vagy a megfigyelő készülék (pl. egy filmfelvevő) nem tapasztalja, illetve konstatálja a hozzá képest nyugvó óra ütemsebességének lelassulását, kézenfekvő a tárgyak méretét érintő perspektivikus zsugorodás analógiájára azt föltenni, hogy az órák valójában, ténylegesen, mint fizikai létezők, nem változtatják meg ütemüket, hanem csupán arról van szó, hogy a különböző vonatkoztatási rendszerekből mérve (nem szubjektívan, nem a képzelet által, hanem objektívan, „valóságosan”) tűnik úgy, mintha lassabban járnának.

A leegyszerűsített, közhelyszerű populáris vélekedéssel szemben tehát önmagában tekintve sem az órák ütemlassulása, sem ezen ütemlassulás szimmetrikus volta – vagyis az (a) és a (b) állítás egyidejű fönnállása – nem áll ellentétben a mindennapi szemléletmóddal.

A következőekben megmutatjuk, hogy Einstein elméletében ez még sincs így: ebben az elméletben a perspektivikus méretzsugorodás analógiája az előbbieken ellenére sem alkalmazható.

6. A perspektivikus torzulás és az einsteini relativisztikus óralassulás eltérő jellege

Képzeld el, hogy János egy tehetetlenségi rendszert képező űrállomáson tartózkodik, és az ALFA űrállomás hozzá képest mozdulatlanul 12 fényórányi távolságra van tőle. (Egy fényóra az a távolság, amit a fény egy óra alatt megtesz.) Képzeld el továbbá, hogy István az űrből érkezve az ALFA irányában egyenes vonalú egyenletes sebességgel halad el mellette a fény sebességének 0,6 részével, s amikor egymás közelében vannak, mindkettő nullára állítja saját óráját. Elemi számolással azt kapjuk, hogy János órája 20 órát fog mutatni, amikor István eléri ALFÁ-t ($12 / 0,6 = 20$). Viszont a relativisztikus óralassulás miatt ekkor István órája János rendszerében csak 16 órát fog mutatni. Mármost a relativitás elmélete szerint a hosszúság kontrakciója miatt István rendszerében az ALFA űrállomás csupán 9,6 fényórányi távolságra lesz Jánostól, azaz Istvánnak a maga rendszerében, a maga órája szerint csak $9,6 / 0,6 = 16$ órát kell utaznia ahhoz, hogy ALFÁ-t elérje. Az eredmény: mind István, mind János rendszere szerint István órája csak 16 órát fog mutatni, amikor az utóbbi eléri az űrállomást. Így látszólag teljes az analógia a méretek perspektivikus zsugorodásával: ténylegesen – azaz a perspektívától függetlenül, nem relativisztikusan, hanem „abszolút valóságosan” – János órája járt lassabban, és ezért az maradt le ténylegesen 4 órával. Tehát nincs szimmetria: István órája abszolút módon mutat 4 órával kevesebbet.

De miképpen lehetséges ez? Hiszen, mint láttuk, az aszimmetrikus óralassulás ellentmond a relativitás posztulátumának. A válasz egyszerű: az előbbi következtetés téves, az óralassulás nem aszimmetrikus. Egyrészt István rendszerében János órája nem 20 órát fog mutatni, amikor az előbbi eléri az űrállomást, hanem csak 12,8 órát. Továbbá éppen arról van szó, hogy István órája egyáltalában nem járt – nem járhatott – lassabban a maga saját rendszerében, hiszen pont ezért mutat az ALFÁ-hoz érkezéskor $9,6 / 0,6 = 16$ órát. De hát ekkor mely értékek a perspektívától független értékek? Az István óráján olvasható 16 óra kétségen kívül ilyen, hiszen János rendszerében is 16 órát mutat ez az óra, amikor az ALFÁ-hoz érkezik. Ám János rendszerében azért mutat 16 órát, *mert relativisztikusan lassabban járt*, Istvánnál viszont éppen azért, *mert nem járt lassabban*.

De hát akkor mi a helyzet a távolsággal, mekkora távolságot utazott nem relativisztikusan, azaz a perspektívától függetlenül István? 12 fényórát? Ha így volna, akkor órájának a perspektívától – azaz a vonatkoztatási rendszerektől – függetlenül lassulást kellett volna elszenvednie, hiszen ilyen lassulás nélkül az

ő órája szerint is 20 óra alatt kellett volna megtennie az utat. Ez esetben tehát István órájának más fizikai törvények szerint kellett volna működnie, mint János órájának, amit kizár a relativitás posztulátuma. Akkor tehát a két űrhajó perspektívafüggetlen távolsága csak 9,6 fényóra volna? S csak a perspektívától függő, relativisztikus látszat volna János számára ALFA 12 fényórányi távolsága? Ez sem lehetséges, mert az ALFA űrállomás nyugszik Jánoshoz képest, és a nyugalmi rendszerben Einstein elmélete szerint nincs sem relativisztikus, sem valóságos kontrakció. Annak a kérdésnek ezért, hogy milyen távolságra van valóban ALFA Jánostól, egyszerűen nincs értelme: e távolság János rendszerében relativisztikusan valóságosan 12 fényóra, István rendszerében relativisztikusan valóságosan 9,6 óra, és szemben a perspektivikus mérettorzulást szenvedő tárgyakkal, e távolágnak nincs „tényleges”, azaz nem relativisztikus mérete, illetve nagysága.

Fontos, hogy az itt megjelenő dilemma *nem matematikai*, hanem *fogalmi jellegű*, s egyáltalán nem érinti Einstein elméletének – pontosabban ezen elmélet matematikai fizikájának – matematikai ellentmondásmentességét. Továbbá, ha elfogadjuk azt, hogy a távolságot és az időtartamot érintő relativisztikus effektusok tekintetében nincs értelme tovább kérdezni abban a tekintetben, hogy mi az, ami „valós”, és mi az, ami csupán „látszat”, akkor a fogalmi problémák is megszűnnek. Viszont ez éppen azt is jelenti, hogy a relativisztikus effektusok – s így különösen az órák lassulásának szimmetriája – az ezzel kapcsolatos első benyomás ellenére mégsem értelmezhetők a perspektivikus torzulás mintájára. Példánk éppen azt mutatja, hogy ha a „relativisztikus jelenség” fogalmát le szeretnénk fordítani a „valóság” és a „látszat” kategóriáira, óhatatlanul fogalmi ellentmondásokba keveredünk – ám ha lemondunk erről, minden koherenssé, harmonikussá válik. A valóság és a látszat kategóriáit tehát ezen értelmezés szerint a fogalmi ellentmondások érdekében föl kell adnunk, s ezek földása jóval mélyebben érinti a mindennapi gondolkodás kategóriáit és képzetait, mint például a Nap vagy a Föld mozgására irányuló kérdés.

Igen kifejező e tekintetben, hogy Einstein és nyomában a relativitáselmélet uralkodó kifejtései – éppen az előbbi dilemma megoldásaként – redukálják a távolság és az időtartam ontikus státuszát, amennyiben az önálló teret és az önálló időt megfosztják abszolút fizikai jellegétől, csak relativisztikus valóságosságot tulajdonítanak nekik (vö. pl. Einstein 2005c. 160–161), és csupán a matematikailag megkonstruált négydimenziós távolságelem hüposztázálása révén adódó hipotetikus entitás mértékét minősítik fizikailag valóságosnak. Ennek nyomán pedig mind a térbeli távolság, mind az önálló időtartam perspektívafüggetlen fogalma értelmét veszíti, és ezért a perspektivikus torzulástól eltérően az a kérdés is értelem nélkülivé válik, hogy mekkora a „tényleges” – tehát a perspektívától független – távolság az ALFA űrállomás és János között. Így viszont a következő dilemma adódik: vagy egy négydimenziós matematikai konstrukció hüposztázációját tekintjük a valóságnak, vagy azt kell föltételeznünk, hogy „a valóság szó

szerint darabokra hullik, és nincs egy olyan meghatározott mód, mely módon a világ létezne” (Craig 2001. 85).

Mármost Kopernikusz Einsteinnel szemben csupán egy új tényszerű állítást szembesített egy másik, sokáig igaznak vélt tényszerű állítással, de ez az új állítás nem vonta maga után a térbeli távolságok és az időtartamok valóságosságával kapcsolatos élményszerű fogalmaink revíziójának kényszerét. Ráadásul a Vergiliusra visszanyúló hajópélda azt bizonyítja, hogy a mozgás kopernikuszi relativitása már az ókorban is általánosan elfogadott volt, csak éppen a püthagoreusok kivételével Kopernikusz előtt nem alkalmazták azt a Föld és a Nap viszonyára. Példánk viszont azt illusztrálja, hogy az einsteini elméletben a relativisztikus jelenségek szimmetriája miatt elkerülhetetlen ezen alapvető fogalmak revíziója, aminek következtében elmélete *lefordíthatatlanná válik* a klasszikus fizika és mindennapi gondolkodás fogalmaira. S ez – azaz a lefordíthatatlan új fogalomrendszer, s nem önmagában az órák megszokható lelassulása – képezi az alapvető különbséget a „kopernikuszi” és az „einsteini” elmélet között. (Persze itt fölvethető még, hogy a mai álláspont szerint annak sincs abszolút értelme, hogy a Föld mozog-e vagy sem: ez is csupán viszonyítás kérdése. Csakhogy e párhuzam is a kopernikuszi és az einsteini fordulat közötti radikális különbséget jeleníti meg. Ugyanis szemben a mozgással, mely – mit láttuk – már Vergiliusnál sem foglalta magában az abszolút jelleget, két entitás vagy jelenség összevethető mérete esetében nem a tapasztalaton vagy a megszokáson múlik, hanem fogalmilag és logikailag következik, hogy azok vagy abszolút egyenlők, vagy valamelyikük abszolút nagyobb, mint a másik. Einsteinnel és mai követőkkel éppen azért kell megtagadniuk a fizikai realitást az önálló távolságtól és időtartamtól, hogy az elmélet ne ütközzék e fogalmi-logikai elvárásba.)

Megjegyezzük még, hogy a mindennapi gondolkodással való hasonló ütközéshez jutunk akkor is, ha a fénysebesség minden vonatkoztatási rendszerben való állandóságát, a népszerű ikerparadoxont vagy az egyidejűség itt nem érintett einsteini relativitását elemezzük. Sőt, ezen utóbbi nyomán már maga a múlt, a jelen és a jövő is relatívvá válik, s így az, hogy egy távoli személy él-e még vagy már meghalt, szintén függeni fog a választott vonatkoztatási rendszertől.

III. AZ ÓRÁK RELATIVISZTIKUS LASSULÁSA A LORENTZIÁNUS ELMÉLETBEN

Annak idején a Michelson–Morley-kísérlet negatív eredményének magyarázataként Fitzgerald azt föltételezte, hogy az éterhez képest mozgó rudak mozgásuk irányában összezsugorodnak. Ezt a hipotézist Lorentz fejlesztette kidolgozott elméletté (vö. pl. Lorentz 1892; 1910). Mármost, ha ezt az elméletet kiegészítjük az éterhez képest mozgó órák ütemének a Lorentz-transzformáció szerinti lelassulásával, Einstein elméletéhez hasonlóan magyarázatot kaphatunk

a relativisztikus jelenségekre. Az így adódó lorentziánus elmélet matematikájában és ebből fakadóan előrejelzéseiben teljesen azonos az einsteini elmélettel. Ezért azok a megfigyelési eredmények, mely Einstein elméletét megerősítik (így például az einsteini elmélet sikeres alkalmazása a GPS-rendszerekben), a lorentziánus elméletet is konfirmálják. (Lásd pl. Flander 2008, mely egyenesen amellettt érvel, hogy a GPS-alkalmazás sikere nyomán az azonos predikciók ellenére Lorentz elméletét kell előnyben részesítenünk.) Az így adódó lorentziánus relativitáselméletben tehát az azonos tapasztalati előrejelzések miatt fenomenálisan, „a fizikai világ megjelenésében” teljesül a relativitás einsteini elve. (Ezért és ennyiben ez is „relativitáselmélet”.) Ugyanakkor létezik benne kitüntetett nyugalmi rendszer, és ebben a fizika törvényei kifejezetten más formájúak, mint a hozzá képest mozgó rendszerekben.¹

Hasonlóan ahhoz, mint amiképpen ezt az órák ütemének triviális relativitása esetében megmutattuk, könnyen belátható, hogy ez az elmélet nem ütközik oly módon a mindennapi gondolkodással és tapasztalattal, mint einsteini párja. Ám egyik oldalról a relativitáselmélet, másik oldalról a mindennapi gondolkodás és a józan ész általunk használt fogalma közötti konfliktus ily módon törtenő föloldásának súlyos ára van. Mint láttuk ugyanis, az elmélet szerint egyrészt nem teljesül a relativitás követelménye, másrészt viszont a fizikai valóság a jelenségekben mégiscsak úgy mutatkozik meg, mintha teljesülne. Így például az órák üteme abszolút módon különbözik benne az egymáshoz képest mozgó vonatkoztatási rendszerek esetében, aminek következtében ütemsebességük változása aszimmetrikus. Mégis, e változás ugyanúgy szimmetrikusként jelenik meg, mint Einsteinnél. Mindez pedig azt jelenti, hogy a Lorentz-féle elmélet egyrészt megfigyelhetetlen folyamatokat vezet be (pl. a mozgó órák ütemsebességének aszimmetrikus lelassulását), másrészt a természeti folyamatok között olyan összjátékot föltételez, mely elrejtí a fizikai világ néhány alapvető mozzanatát a megfigyelések elől, illetve azokat éppen ellentétesként jeleníti meg,

¹ Azonos jellegűk miatt a lorentziánus elméletek közé sorolhatóak azok az elméletek is, amelyek fizikai háttérközegként az éter helyett – azonos funkcióval – egyfajta abszolút teret vagy egy kozmikus determinált fizikai mezőt vezetnek be. Lorentz mellett e megközelítés legismertebb képviselője H. Ives, S. J. Prokhovnik és a magyar Jánossy Lajos, mely utóbbi ezen elmélettípus talán matematikailag, fizikailag és fogalmilag leginkább kidogozott, az általános relativitás elméletére is érvényes változatát alkotta meg. Bár Jánossy ezen elmélete Magyarországon megalapozatlanul szalonképtelenné vált, nemzetközileg a tárgykör iránt érdeklődő fizikusok körében elismerésnek örvend annak ellenére is, hogy angol nyelvi közegben döntően az amerikai H. Ives-nak Jánossy elméleténél kevésbé kidolgozott elképzeléseit idézik. (Vö. Ives 1945; Jánossy 1971; Jánossy 1971b; Prokhovnik 1985.) A lorentziánus irányzat újabb követői közé tartozik pl. Fr. Selleri 2009, és bár a teológia és a fizika túl erős összekapcsolása miatt talán kritizálhatóan, de fizikailag korrekten W. L. Craig 2001. (Vö. még pl. Dorling 1968; Bell 1987; Brandes et al. 1997; Craig 2008; illetve Székely 2007. 150–152; Székely 2009; Székely 2013. 76–77; valamint Acuña 2014, mely utóbbi annak ellenére hangsúlyozza e két elmélet prediktív ekvivalenciáját, hogy úgy véli, ismeretelméleti okok miatt a fizikai tapasztalat mégis Einstein elmélete mellett szól.)

mint amiképpen léteznek vagy megtörténnek (pl. az órák ütemsebességének aszimmetrikus változása szimmetrikusként jelenik meg).

A lorentziánus és az einsteini elmélet e sajátos viszonya következtében ezért a fizikai világ a relativisztikus fizikai jelenségek révén kikerülhetetlenül olyanként mutatkozik meg számunkra, hogy az vagy csak a józan ésszel és a mindennapi gondolkodással ellentétes képzetek segítségével magyarázható meg, vagy azt kell föltételeznünk, hogy a természeti folyamatok egy része természettörvényszerű szükségszerűséggel elfedi egymást, és ennek nyomán a fizikai világ fenomenálisan másként jelenik meg, mint amilyen az valójában. *Ez a valódi és egyben kikerülhetetlennek tűnő újdonsága a 19. század végétől föltáruuló relativisztikus jelenségeknek a klasszikus fizika által tárgyalt jelenségekkel szemben.*

IV. A NÉGYDIMENZIÓS TÉRIDŐ KÉRDÉSE

A négydimenziós téridő fogalmát csak utólag csatolták hozzá a speciális relativitás elméletéhez, és annak szempontjából szükségtelen. Viszont az általános relativitás elméletének olyan kiküszöbölhetetlen, integráns része, melynek ugyanakkor számos eltérő értelmezése adható. Ezek az értelmezések nem érintik magát a matematikai fizikai elméletet és annak előrejelzéseit, és ezért mint lehetséges értelmezések között, nincs értelme a „helyes” és a „nem helyes” minősítéssel megkülönböztetni vagy rangsorolni őket. Ennek megfelelően az alábbi elemzések csupán gondolkodástörténeti kontextusba helyezik azokat, és levonják következményeiket, de semmiképpen sem tekinthetők az egyik vagy a másik melletti érvelésnek.

1. A négydimenziós téridő instrumentalista értelmezése

Tényként kezelendő, hogy mind a speciális, mind az általános relativitás elmélete a négydimenziós téridő fogalmával és matematikájával dolgozik. Az is nehezen vitatható, hogy az így kapott eredmények szinte sokkoló pontossággal megfelelnek a fizikai méréseknek. Az instrumentalista értelmezés jegyében azonban a téridő tekinthető pusztán teoretikus létezőnek is, mely nem több előrejelzéseket nyújtó számítási eszköznél (pl. Dingle 1940. 86; Mermin 2009). Ez esetben pedig a téridő fogalmának jelenléte a relativitás elméletében annak ellenére sem vonhat maga után szükségszerű következményeket a mindennapi életben adódó időélmény és a hagyományos filozófiai időfogalmak tekintetében, hogy fölfogása szerint a benne foglalt idő csupán a téridő egyik dimenziója, s mint ilyen, ellentmondásban áll ezekkel.

2. A négydimenziós téridő radikális realista értelmezése

A fizikusok körében ma is uralkodó radikális realista értelmezés szerint viszont az elméleti téridő, azaz a téridő mint teoretikus entitás helyesen reprezentálja – „tükrözi” – a leírástól függetlenül létezőnek tételezett fizikai valóságot, míg annak mindennapi és hagyományos fizikai képzete hamis, mivel a fizikai teret és a fizikai időt – vagy a leibnizi relacionista fölfogásban a fizikai tér- és az időviszonyokat – minőségileg különbözőknek tekinti. Eszerint az idő ontikusan tekintve sem más, mint a tér jellegű téridő pusztá dimenziója, s ennek megfelelően Minkowski nevezetes kijelentésének megfelelően mind az önálló tér, mind az önálló idő nem csupán a teoretikus matematikai leírásban, hanem az ezen leírástól függetlennek tételezett fizikai valóságban is csupán „árny” (Minkowski 1908).²

A négydimenziós téridő radikális realista fölfogása tehát a teoretikus-matematikai leírás kivetítésével, „hüposztazációjával” kapott fizikai világgépet tekinti a valóságnak, melynek fényében elemi életélményeink illuzórikussá válnak. Így e fölfogásban például egy élőlény megszületése és a halála közötti időintervallumnak csak akkor van abszolút fizikai értelme, ha közelítőleg a háromdimenziós téridő azonos pontján tartózkodott mindkét eseménykor, és ebben az esetben is ezen idői intervallum minőségileg nem, hanem csak matematikailag-geometriailag fog különbözni például a Bécs–Budapest távolságintervallumtól. Továbbá maga a születés és a halál eseménye e reális téridőben egyszer és mindenkorra, „örökkévalóan” rögzítve „volt”, „van” s „lesz” már a megszületés „előtt” a téridő két adott pontján. Nemcsak egyszerűen radikális realizmusról van itt tehát szó, hanem a legelemibb életélmények egyikének (konkrétan az időbeliség és a térbeliség élménye közötti, a fizikai megfigyelésekben is jelenlévő alapvető különbség) megkérdőjelezéséről, s ezáltal az életnek magának a leértékeléséről egy matematikai fizikai elméleti entitás jegyében. Ez pedig tipikusan a szcientizmus tünete, s mint ilyen filozófiailag Wilfrid Sellars jégkockapéldázatán keresztül egészen Démokritoszig és Parmenidészig vezethető vissza. E szemléletmód egyúttal párhuzamba állítható azzal a megismeréstudományi és pszichológiai beállítódással, mely csak a „késztetéseket”, a „motivációkat”, a „mentális állapotokat” tekinti valósnak, míg a szeretet, a gyűlölet, az öröm és a bánat stb. fogalmait használó elbeszéléseket ismeretelméleti szempontból értéktelennek tartva, lenézően „népi lélektanként” jellemzi (vö. még Székely 2015. 135–137).

A radikális realista értelmezés kapcsán megjegyezzük még, hogy az időutazást elméletileg lehetővé tévő populáris „időhurkok”, „időalagutak” vagy a *téridimenziók egyikének idődimenzióba és az idődimenzió téridimenzióba történő átalakulása*

² Ez a radikális realista értelmezés Minkowski nyomán megjelenik Einsteinnél, és ma is ez található meg a fizikatankönyvek többségében. A fölfogás explicit taglalását lásd pl. Petkov 2012; illetve Balashov–Jansen 2003.

valós matematikai lehetőségek. Ám még a radikális realista értelmezésnek is különösen extrém változatára van szükség ahhoz, hogy ezeket fizikailag értelmes lehetőségeknek, és így fizikailag reális előrejelzéseknek tekintsük.

3. A téridő mérsékelt realista értelmezése

A relativitáselmélet téridő-fogalma tehát csak akkor ütközik mindennapi életünk időfogalmával, ha a téridőt mint teoretikus entitást rávetítjük a fizikai valóságra. De lehet-e ezt oly módon kikerülni, hogy nem térünk át az instrumentalista álláspontra? A válasz igen: bár a témával foglalkozó irodalomban ez az álláspont tudomásunk szerint kifejezett formában nem fogalmazódott meg, a relativitáselmélet téridejét lehet mérsékelt realista módon is értelmezni.

Eszerint az elméleti téridőnek mint matematikai konstrukciónak időparamétere az óraértékeket ábrázolja, a három térkoordináta pedig a térbeli távolságokat. Ennyiben a téridő-konstrukciónak reális fizikai tartalma van. Ugyanakkor ez az absztrakt ábrázolás az órák és a fizikai események viszonyát, valamint a térbeli távolságokat egyaránt számmá teszi, és ezért elenyészik benne egyik oldalról a térvizonyok, másik oldalról az órák és a fizikai események közötti viszony minőségi különbsége. Az így adódó teoretikus entitás részben helyesen reprezentálja a fizikai világ tér- és időviszonyait, ám úgy, hogy nem érinti a térrel és az idővel kapcsolatos életvilágbeli élményeket, sem a filozófia hagyományos időfogalmait. (Implicite ilyen álláspontot képvisel Jánossy 1971; Brown 2015, és – bár magát a négydimenziós téridőt „dicsőséges nemlétezőnek” minősíti – Brown–Pooley 2016.)

V. A TÉRIDŐ NEM EUKLEIDÉSZI JELLEGE

A következő képzet, mely konfliktust generálhat egyik oldalról a mindennapi gondolkodás és a józan ész, másik oldalról a relativitás elmélete között, a „tér görbültségének” fogalma.

Láttuk, hogy a relativitás elmélete a fizikai világot téridőként írja le. Ennek ellenére az egyszerűség kedvéért most tekintsünk el ettől, és válasszunk olyan koordinátákat, amelyekben kifejezve az időtengely a matematikai leírásban mérőleges a térdimenziókra. Ekkor az elméleti tér matematikailag leválasztható az elméleti téridőről. Ez a leválasztott elméleti tér természetesen az instrumentalista értelmezésben annak „görbültségével” együtt csupán számítási eszköz marad, ám a téridő mérsékelt realista értelmezését követve már mint a fizikai világ terének reprezentációja jelenik meg.

Mint jelent az, hogy ez az elméleti tér „görbe”? Egzakt megfogalmazásban azt, hogy struktúráját nem az eukleidészi geometria írja le. Ám ez a geometria az

elmélet matematikai fizikai részének megváltoztatása nélkül értelmezhető úgy is, mint egy olyan önálló gravitációs mező nem eukleidészi struktúrája, mely mező a görbületmentes eukleidészi térben helyezkedik el. Kétségtelen, hogy maga Einstein és nyomában a mai fizikát uraló fölfogás a gravitációs mezőt nem önálló entitásként, hanem a tér struktúrájaként fogja föl, de ez egyáltalában nem következik az elmélet matematikai fizikájából, hanem filozófiailag motivált értelmezés. (Einstein maga csak átmenetinek tartotta e geometriai szemléletmódot, amit a fizikának meg kell majd haladnia. Vö. pl. Einstein 1921/2005. 288; Einstein 1949/2005a. 419–420; Brown 2005. 113–114.)

Tehát nem a sikeres fizikai elmélet, hanem annak filozófiai értelmezése hozza létre azt az új térfogalmat, mely szembekerül mind a mindennapi térképzeteinken alapuló térfogalommal, mind a filozófia olyan hagyományos térfogalmaival, mint a kanti, a leibnizi vagy bármely más filozófiai térfogalom. A gravitációnak a tér görbülségeként történő értelmezése ezért nem empirikus kényszer, hanem filozófiailag motivált értelmezési aktus, s ezért a konfliktus *nem általában a relativitás fizikai elmélete* és annak téridő-fogalma, hanem *egy filozófiailag motivált új fizikai térfogalom* és a hagyományos térfogalmak között áll fönn: filozófiai eredetű.

VI. RÖVID KITÉRÉS A KVANTUMMECHANIKÁRA

A kvantummechanikára részletesebben nem csupán terjedelmi korlátok miatt nem térhetünk ki, hanem azért sem, mert az így nevezett matematikai fizikai elméletnek több tucat interpretációja létezik. Nem is beszélve arról, hogy a fizikusok többsége által követett koppenhágai interpretáción belül is számtalan változat alakult ki, s még Bohr és Heisenberg (tehát az a két nagy személyiség, akinek nevéhez ez az interpretáció kapcsolódik) sem értett egyet minden tekintetben. A fizika nagy örege, Steven Weinberg pedig a 2000-es évek elejétől kezdve több ízben is elhibázottnak minősítette ezt a fizikusok többsége által évtizedeken át megkérdőjelezhetetlennek tartott értelmezést.

A következőkben az illusztráció kedvéért mégis röviden érintjük tárgyunk szempontjából a kvantummechanika ezen utóbbi értelmezését, jelezve, hogy még egy fizikailag indeterminista elmélet is beágyazható a létezők determináltságát állító filozófiai elméletekbe, azaz azt, hogy az ontikus determinizmus megőrzésének érdekében nem szükséges a koppenhágai interpretációval szemben a kevésbé sikeres lokális (tehát a terjedési idő nélküli, végtelen sebességgel haladó távolbhatást kizáró) determinista értelmezési irányzathoz, sem a távolbhatást megengedő Bohm-féle értelmezéshez föllebbezni. (A koppenhágai értelmezésről vö. pl. Bohr 1930/1985; Bohr 1948/1985; a kvantummechanika értelmezésével kapcsolatos vitáiról lásd pl. Einstein 1936/2005. 325–336; Einstein 1949/2005b; Jammer 1974; Szegedi 1988; Szabó 2002; Székely 2013. 69–76; Weinberg 2017.)

1. A fizikai létezők tulajdonságai és a kvantummechanika

Az emberiség sok évezredek tapasztalata alapján a környezeti világban számunkra megjelenő létezők határozott anyagmennyiséggel (tömeggel), súllyal, alakkal, hellyel, s ha mozognak, mozgásuk pontos irányával és sebességével rendelkeznek. Ez nem zárja ki az olyan nem fizikai jellegű létezőket, melyekre ez nem áll fenn, de a tapasztalható testi, tér- és időbeli létezők hagyományos képzetéhez és fogalmához ezek a meghatározottságok a mindennapi gondolkodásban elválaszthatatlanul hozzátartoznak. A 19. századi fizika a gravitációs és elektromágneses erőkkel (azaz „mezőkkel”) a testi létezőktől eltérő, de továbbra is fizikai jellegű létezőket vezetett be. Ám ezekhez szintén az előbbiekhöz hasonló – bár konkrét mibenlétükben a mindennapi tapasztalattól gyakran eltérő – jól meghatározott tulajdonságokat (pl. térerőt) rendelt, s ezt a sajátosságot a relativitás elmélete is megőrizte.

Mármost a kvantummechanika koppenhágai értelmezése nemcsak az oksági elvet vagy a fizikai történések determinált jellegére vonatkozó elképzelést adta föl, hanem a fizikai létezők tulajdonságainak és állapotainak e teljes meghatározottságára vonatkozó képzetet is.

Ez az értelmezés három, néha kifejezett módon megjelenő, máskor rejtett állításon alapul. Egyrészt a mikrovilágbeli fizikai létezőket olyan, a makroszkopikus világtól minőségileg különböző létezőknek tekinti, melyek nem hullámok, nem részecskék, hanem valamiféle harmadik típusú létezők, melyek a makroszkopikus képzeteknek és fogalmaknak nem tesznek eleget. Másrészt fölteszi azt, hogy e mikroszkopikus létezők (például az atomok, az elektronok, az elemi részecskék) képesek a makroszkopikus berendezésekkel kölcsönhatásba lépni és ily módon a makroszkopikus világban megnyilvánulni, „manifesztálódni”. Harmadrészt e fölfogás szerint a megfigyelés során éppen ezek a mikrovilágbeli fizikai létezők manifesztálódhatnak a makroszkopikus világban, s mivel ez a mikrovilág és a makrovilág egymással való kölcsönhatásba lépését jelenti, a megfigyelői apparátus és a megfigyelt kvantumjelenség csak viszonylagosan, konvencionálisan választhatóak el egymástól. (A szenzációhajhászó értelmezésekkel, valamint a filozófia iránt érdeklődő, de abban csak részlegesen járatos neves fizikusok – így pl. Carl Friedrich von Weizsäcker – véleményével szemben tehát nincs szó arról, hogy a kvantummechanika meghaladta volna a filozófiai szubjektum–objektum dualizmust, mivel itt a fizikai világ két rétegének kölcsönhatásáról van szó.)

A koppenhágai értelmezés ezen a három föltételezésen alapul, és azt állítja, hogy egy mikrovilágbeli fizikai létezőnek (pl. egy elektronnak) a makroszkopikus világban történő manifesztálódására, azaz arra, hogy miként jelenik meg a megfigyelési berendezésen keresztül a megfigyelést rögzítő készülék (pl. egy fotóautomata) vagy a fizikus számára, csak valószínűségi előrejelzés adható. Ez kiegészül azután a Heisenberg-féle határozatlansági relációk koppenhágai értel-

mezésével, mely szerint a konkrét manifesztációban adódó megfigyelt jelenségnek többek között nem lehet egyszerre pontos helye és sebessége, és az, hogy a megfigyelésben a jelenség e tulajdonságai külön-külön mily mértékű meghatározatlansággal fognak megjelenni, a megfigyelés vagy a kísérlet elvégzése során dől el, és annak jellegétől függ. Így például, ha a kísérlet a benne részecskeként megjelenő elektron pontos helyének meghatározására irányul, sebessége meghatározatlanná válik, ám ha a kísérlet a sebesség pontos meghatározására irányul, akkor helye válik meghatározatlanná. Mindez ugyanakkor a populáris tézissel szemben nem azt jelenti, hogy ezen interpretáció szerint a megfigyelés hozná létre a mikrofizikai létezők tulajdonságait: a megfigyelési-kísérleti berendezés nem magának a mikrorészecskének, hanem makroszkopikus megnyilvánulásának a tulajdonságait hozza létre, mégpedig e megnyilvánulásnak aluldeterminált, csak a határozatlansági relációk által megengedett mértékig meghatározott módjával.

Mindezzel kapcsolatosan Bohr elkötelezi magát a mindennapi képzetek és a klasszikus fizika fogalmai mellett:

[A] fizikai kísérletek célja – ti. hogy reprodukálható és másokkal közölhető kísérleti körülmények között tapasztalatokat szerezzünk – nem enged meg más választást, mint a mindennapi élet fogalmainak alkalmazását, amelyeket a klasszikus fizika terminológiájára támaszkodva finomíthatunk. Ez nemcsak a mérőberendezések felépítésének és használatának leírására vonatkozik, hanem a kísérleti eredmények leírására is. (Bohr 1984. 46; vö. még Bohr 1938/1985. 24; Bohr 1949/1985. 38.)

Ám azonnal hozzátesszi:

Másrészt ugyanolyan fontos megértenünk, hogy éppen ebből a körülményből következik, hogy egyetlen, a klasszikus fizika területén elvileg kívül eső jelenségre vonatkozó kísérleti eredmény sem elemezhető odáig, hogy felvilágosítást adjon számunkra az objektum független tulajdonságairól (Bohr 1984. 46; vö. még Bohr 1938/1985. 24).

2. A rejtett paraméterek kérdése

Fölvethető, hogy ebből az állításból nem következik a megfigyelt fizikai létező független tulajdonságainak hiánya, s így az sem, hogy e létező ne rendelkezne egyidejűleg pontos, jól meghatározott hellyel és sebességgel. *A priori* elképzelhető ugyanis, hogy a független tulajdonságok létezésére vonatkozó következtetés lehetetlensége csupán a fizikai elmélet ismeretelméleti korlátainak a következménye. Az elmúlt közel száz év alatt számos érvet hoztak föl a koppenhágai interpretáció hívei arra, hogy a kvantummechanika kizárja az ilyen jól meghatározott, pontos értékkel megragadható tulajdonságok egyidejű létezésének

még csak a föltételezését is, ami technikailag úgy fogalmazódott meg, hogy a kvantummechanikába nem vezethetőek be úgynevezett „rejtett paraméterek” a távolbahatás bevezetése (azaz a lokalitás elvének sérülése) nélkül (vö. pl. Bell 1966). Történetileg igen fontos, hogy ezt Szabó László és Arthur Fine megcáfolta (Szabó–Fine 2002). Ám a rejtett paraméterekről szóló vitának minden ellentétes látszat ellenére tárgyunk szempontjából nincs különösebb ontikus jelentősége. Ugyanis az *ilyen paraméterek bevezethetlenségéből sem következne szükségképpen, hogy a mikrovilág fizikai létezői ne rendelkezhetnének jól meghatározott tulajdonságokkal és állapotokkal*. E tekintetben a rejtett paraméterek bevezethetlensége csupán annyit jelentene, hogy a jelenlegi kvantummechanika, valamint annak bővítései – s talán minden lehetséges jövőbeli elmélet – a mikrovilág esetében kizárja e heisenbergi párok egyidejű pontos meghatározását a makroszkopikus megfigyelő számára. Ebből azonban semmiképpen sem következik, hogy a mikrovilág fizikai létezőinek ne lehetnének egyidejűleg pontosan meghatározott reális tulajdonságai, így például pontos, jól meghatározott helyük és sebességük (tekintsük e létezőket akár hullámoknak, akár részecskéknek, akár hol így, hol úgy megjelenő harmadiknak).

De miért nem mond szükségszerűen ellent egy indeterminista módon értelmezett fizikai elmélet a determinista ontológiának? A válasz egyszerű: a *fizikai valóság* és *annak elméleti modellje*, valamint *a modellhez rendelt matematika* nem azonos egymással. A kvantummechanika matematikai apparátusát két különös jegy jellemzi: egyrészt a mikrovilág létezőire csupán valószínűségeket ad meg, másrészt a megfigyelési eredményekre – azaz a „mikrolétezők manifesztálódására” – a heisenbergi határozatlansági relációk jegyében ad előrejelzéseket. A matematikai leírásban tehát nincsenek pontosan determinált meghatározottságok, csupán erre adott valószínűségeket, és a heisenbergi tulajdonságpárok esetében a megfigyelési eredményekben is szükségképpen hiányzik az egyidejű pontos meghatározottság. Ebből azonban *csak a pozitivista filozófiai beállítódás esetén következik a független és egyidejűleg adott teljes, pontos meghatározottságok tagadása*, ami ugyanakkor sajátos módon az alkalmazott matematika radikális realista interpretációját eredményezi, amennyiben ez a megközelítés a matematikai leírás valószínűségi jellegét és a belőle adódó aluldetermináltságot a mikrofizikai valóság helyes megragadásaként értelmezi. Az általunk korábban vázolt, „mérsékelt realistaként” jellemezhető interpretációban viszont az elméleti matematikai leírás valószínűségi jellegének van ugyan ontikus tartalma, de az korlátozott: a mikrofizikai létező állapotainak a makroszkopikus megfigyelési berendezések viszonylatában – így a makroszkopikus gépi vagy emberi megfigyelő számára – adódó valószínűségeket adja meg, ami kifejezetten ontikus és nem ismeretelméleti viszony, hiszen ebben az értelmezésben a leírás nem más, mint a mikrolétezők és a makrolétezők reális, „objektív” viszonyának valószínűségi terminusokban való kifejeződése. Ezért ebben az értelmezésben nem következettünk arra, hogy a mikrofizikai létezők – bárminek is tekintjük őket – ne rendelkezhetnének a megfigyeléstől függetlenül egyidejűleg

határozott hely-, sebesség- vagy más állapotokkal, illetve tulajdonságokkal. (A fizikai leírás és a mentális élmények – így a színélmények – viszonyáról az ittenihez hasonló koncepciót fejt ki Maxwell 1966.)

A Bohrtól vett legutóbbi idézet nem mond ellent e most vázolt értelmezésnek, mert csak annyit állít, hogy a kvantummechanika keretében nem lehet a kísérlet tárgyát képező fizikai entitás független tulajdonságainak létezésére következtetni; az előbbieken pedig nem következtettünk ilyenekre, hanem csupán arra a logikai lehetőségre hivatkoztunk, hogy a fizikán belüli kikövetkeztethetlenségük ellenére létezhetnek ilyen tulajdonságok. Persze ilyen, a fizikai elméletből következőleg természettörvényszerűen megfigyelhetetlen, kimutathatatlan és egyúttal teoretikusan levezethetetlen létezőkről vagy tulajdonságokról beszélni a pozitivista filozófiai beállítódás és a szcientista világnézet szempontjából botrány. De ez nem jelenti azt, hogy filozófiailag értelmetlen, önkényes, üres metafizikai spekuláció volna. Éppen ellenkezőleg: a józan ész és a fizikai világ egységességének elve egyaránt megköveteli, hogy az atomokhoz, az elektronokhoz és az elemi részecskékhez nem makroszkopikus jellegük ellenére egyidejűleg jól meghatározott helyet, sebességet és egyéb jól meghatározott tulajdonságokat rendeljünk még akkor is, ha a fizikai megismerés számára ezek – nem a megismerő aktor korlátozottsága miatt, hanem természettörvényszerűen – örökre elérhetetlenek maradnak. Ebben a vonatkozásban ezért az általunk vázolt – nem fizikai, hanem filozófiai – interpretáció párhuzamba állítható a relativisztikus jelenségek Lorentz-típusú magyarázatával. Mindkettő *racionális megfontolások alapján, a hagyományos fogalmakhoz és a józan észhez történő igazodás igényével* vezet be a pozitívizmus számára megfigyelhetlenségük miatt elfogadhatatlan létezőket, azzal az eltéréssel, hogy amíg a Lorentz-típusú magyarázatok ezt a fizikán belül teszik meg, addig a most fölvázolt interpretáció a filozófiai területén mozog.

A fentiekből az következik, hogy egy önmagában indeterminált fizikai világot nyújtó fizikai elmélet ontikusan összeegyeztethető lehet egy determinált világgal, hiszen az elmélet indeterminista volta lehet a determinatív tényezők természeti-fizikai okok miatti megfigyelhetlenségének kifejeződése. Ezért a hagyományos racionalizmus jegyében irracionálisnak minősülő, de a józan észnek is ellentmondó indeterminista fizikai elméletekből nem – így a kvantummechanikából sem – következik szükségképpen a fizikai valóság determinista fölfogásának tagadása (vö. még: Székely 2006).

Mindez pedig élesen rávilágít a kvantummechanika és a klasszikus fizika közötti eltérésre. A klasszikus fizika kifejezetten determinált fizikai világot tár elénk. Ezzel szemben a fizikai atomoknak és elemi részecskéknek a 19–20. század fordulójától egyre inkább föltáruló világát nem sikerült a klasszikus fizika fogalmainak segítségével leírni, s így a kvantummechanika rákényszerült arra a valószínűségi szemléletmódra és módszertanra, mely jelenleg azt jellemzi. Ott pedig, ahol nem határozott értékek, hanem csak valószínűségek szerepelnek, természetes módon adódik az indeterminista értelmezés lehetősége.

VII. ÖSSZEGRZÉS

Láthattuk, hogy a relativitás elmélete és a kvantummechanika valóban másként viszonyul a mindennapi gondolkodáshoz és a józan észhez, mint a klasszikus fizika. E megváltozott viszony azonban igen összetett: csak módszertani, ismeretelméleti és ontológiai szempontok figyelembevételével érthető meg és értelmezhető, s egyáltalán nem következik belőle, hogy radikálisan föl kellene adni a mindennapi gondolkodás és az általunk itt használt értelemben vett *józan ész* képzetait, valamint a térrel, az idővel, a determinizmussal és a fizikai létezők jól meghatározott jegyeivel kapcsolatos hagyományos ontikus filozófiai fogalmakat és kategóriákat. S ez nemcsak azért van így, mert a fizikai elméletek értelmezhetőek instrumentalista módon, pusztán eszközökként. Megmutattuk, hogy ezen elméleteknek mint fizikai elméleteknek lehetségesek olyan mérsékeltlen realista értelmezései is, melyek a világ fizikai aspektusa tekintetében összeegyeztethetőek a mindennapi gondolkodás, a józan ész és a filozófia hagyományos fogalmaival. Azon állítás tehát, mely szerint a modern fizika filozófiai fogalmaink revíziójára kényszerítene, más okok mellett ezért is téves.

De láthattuk azt is, hogy ez a konfliktus egyik oldalról a józan ész és a mindennapi gondolkodás, másik oldalról a modern fizika uralkodó fölfogása között nem egyszerűen a szemléletmód megváltozásából következett be, nem egyszerűen kulturális vagy társadalmi eredetű. Bármily nagy szerepet játszottak is ezen utóbbi faktorok a fizikai gondolkodás átalakulásában, érvényre jutásuk előfeltételezte a tapasztalati fizika által éppen akkor föltárt fizikai viszonyok radikális szembekerülését a klasszikus fizika elvárásaival. Ha például a Bohr-féle naprendszer-atommodell sikeres lett volna, nem született volna meg a kvantummechanika és a határozatlansági relációk fizikai elmélete, s így nem lett volna lehetőség arra, hogy a Weimari Köztársaság kulturális légköre ezen elmélet indeterminista értelmezésének irányban hasson (vö. Forman 1971; Szegedi 1987). S ha a Michelson–Morley-féle kísérlet pozitív eredménnyel járt volna, nem született volna meg a relativitás elmélete.

A társadalmi-kulturális tényezők és az éppen akkor uralkodó világnézeti-filozófiai tendenciák mellett tehát arról is szó van, hogy a feltárolt új fizikai jelenségek nem tették lehetővé (és ma sem teszik lehetővé) minden tekintetben a hagyományos szemléletmód megőrzését anélkül, hogy ne föltételeznénk a természetben természettörvényszerű, tehát természetontológiai és nem ismeretelméleti okok miatt megfigyelhetetlen létezőket és/vagy folyamatokat. Így a relativitáselmélet és a kvantummechanika újdonsága abban rejlik, hogy a fizikai ismeretek jegyében

(a) vagy föl kell adnunk néhány ponton a fizikai világ jellegével kapcsolatos természetes képzetünket (például el kell fogadnunk, hogy egy fizikai létezőnek nincs egyidejűleg pontos helye és sebessége, vagy azt, hogy egy távoli személy élő vagy holt volta függ a vonatkoztatási rendszertől);

(b) vagy föl kell tételoznünk, hogy a természeti létezők és struktúrák egy része természettörvényszerűen elérhetetlen a mindenkori megfigyelő vagy megfigyelési apparátus számára, s ebben az értelemben a természet – metaforikusan szólva – „elrejtí elölünk” egyes alapvető mozzanatait.

A modern fizika újdonsága az (a) s a (b) közötti választás elkerülhetetlenségében van, és amíg az (a) lehetőség választása esetén a fizika valóban szembekerül a mindennapi gondolkodással és a józan ésszel, a pozitivista szemléletmódot elutasítva választható a (b) lehetőség is, és ezúton e konfliktus elkerülhető.

Az elvileg megfigyelhetetlen világegyetemek sokaságának ma divatos hipotézise, vagy a Hawking által preferált körkörös kozmikus képzetes idő koncepciója persze szintén radikálisan föladja e pozitivista tézist, mégis konfliktusban áll a mindennapi gondolkodással. Ezek azonban ugyanúgy egyes matematikai megoldások reflektálatlan hüposztazációjából erednek, mint a már említett „tér-idő-alagutak”. A reflektálatlan hüposztazációra való hajlam és az ilyen konstrukciók népszerűsége viszont már mind a tudományos életben, mind a populáris kultúrában olyan jelenség, melynek tárgyalása külön tanulmányt igényelne.

IRODALOM

- Acuña, Pablo 2014. On the Empirical Equivalence between Special Relativity and Lorentz's Ether Theory. *Studies in History and Philosophy of Science Part B Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. 46/1. 283–302.
- Balashov, Juri – Michael Janssen 2003. Presentism and Relativity. *British Journal for the Philosophy of Science*. 54. 327–347.
- Bell, John S. 1966. On the Problem of Hidden Variables in Qantum Mechanics. *Review of Modern Physics*. 38/1. 447–452 (újra közölve in Bell 1987/2015. 1–13).
- Bell, John S. 1987. How to Teach Special Relativity. In Bell 1987/2015. 67–80.
- Bell, John S. 1987/2015. *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics: Papers on Quantum Philosophy*. (Second, Revised Edition: 2015.) Cambridge, Cambridge University Press. 67–80.
- Bergson, Henri 1922/1923. *Tartam és egyidejűség*. Ford. Dienes Valéria. Budapest, Pantheon.
- Bohr, Niels 1930/1985. Die Atomtheorie und die Prinzipien der Naturbeschreibung. *Naturwissenschaften*. 18. 73–78.
- Bohr, Niels 1938/1985. Erkenntnistheoretische Fragen in der Physik und die menschlichen Kulturen. Ansprache beim Internationalen Kongreß für Anthropologie und Ethnologie, Kopenhagen, 1938. *Nature*. 143 (1939). In Bohr 1985. 22–30.
- Bohr, Niels 1949/1985. Diskussion mit Einstein über erkenntnistheoretische Probleme in der Atomphysik. Beitrag zu *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Szerk. Paul Arthur Schilpp. Evanston/IL, Library of Living Philosophers. 1949. In Bohr 1985. 31–66.
- Bohr, Niels 1984. *Atomfizika és emberi megismerés*. 2. kiad. Ford. Nagy Tibor. Budapest, Gondolat.
- Bohr, Niels 1985. *Atomphysik und menschliche Erkenntnis*. Braunschweig–Wiesbaden, Vieweg & Sohn.
- Bondi, Hermann 1962. *Relativity and Common Sense. A New Approach to Einstein*. London, Heinemann.

- Brown, Harvey R. 2005. *Physical Relativity. Space-time Structure from a Dynamical Perspective*. Oxford, Clarendon Press.
- Brown, Harvey E. – Oliver Pooley 2006. Minkowski's Space-time: a Glorious Non-entity. In Dieks 2006. 67–89.
- Craig, William Lane 2001. *Time and the Metaphysics of Relativity*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Craig, William Lane 2008. Introduction. In William Lane Craig – Q. Smith 2005. *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*. London, Routledge. 1–10.
- Dieks, Dennis et al. (szerk.) 2006. *The Ontology of Space-Time*. Amsterdam–London, Elsevier.
- Denton, Francis Medforth 1924. *Relativity and Common Sense*. Cambridge, The University Press.
- Dingle, Herbert 1940. *The Special Theory of Relativity*. London, Methuen. 1940.
- Dorling, Jan 1968. Length Contraction and Clock Synchronization: The Empirical Equivalence of the Einsteinian and Lorentzian Theories. *British Journal of the Philosophy of Science*. 19/1. 67–69.
- Dummett, Michael 1979. *Common Sense and Physics*. In Graham F. MacDonald (szerk.) *Perception and Identity: Essays Presented to A. J. Ayer, with his Replies to them*. London, MacMillan Press. 1–40.
- E. Szabó László 2002. *A nyitott jövő problémája. Véletlen, kauzalitás és determinizmus a fizikában*. Budapest, Typotex.
- E. Szabó László – Arthur Fine 2002. A Local Hidden Variable Theory for the GHZ Experiment. *Physics Letters A*. 302/5–6. 229–240.
- Einstein, Albert 1905/2005. A mozgó testek elektrodinamikája. In Einstein 2005c. 81–103.
- Einstein, Albert 1916. Die Grundlagen der allgemeinen relativitätstheorie. *Annalen der Physik*. 4. folyam. 49/7. 769–822.
- Einstein, Albert 1918/2005. Párbeszéd a relativitáselmélet elleni kifogásokkal kapcsolatban. In Einstein 2005c. 109–126.
- Einstein, Albert 1920/2005. Éter és relativitáselmélet. In Einstein 2005c. 145–158.
- Einstein, Albert 1921/2005. Geometria és tapasztalat. In Einstein 2005c. 282–293.
- Einstein, Albert 1930. Raum, Äther und Feld in der Physik. *Forum Philosophicum*. 1. 173–180.
- Einstein, Albert 1936/2005. Fizika és valóság. In Einstein 2005c. 282–293.
- Einstein, Albert 1949/2005a. Önéletrajz. In Einstein 2005c. 383–442.
- Einstein, Albert 1949/2005b. A kvantummechanikai indeterminizmusról. In Einstein 2005c. 218–225.
- Einstein, Albert 2005c. *Válogatott írásai*. Ford. Gerner József, Nagy Imre, Szécsi Ferenc; szerk. Székely László. Budapest, Typotex.
- Flandern, Tom Van 2008. Global Positioning System and the Twins' Paradox. In William Lane Craig – Quentin Smith (szerk.) *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*. London, Routledge. 212–228.
- Forman, Paul 1971. Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918–1927. *Historical Studies in the Physical Sciences*. 3. 1–115.
- Ives, Herbert E. 1945. Derivation of the Lorentz transformations. *Philosophical Magazine*. 7. folyam. 39. évf. 257. sz. 392–403.
- Jammer, Max 1974. *The Philosophy of Quantum Mechanics. The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York etc., John Wiley & Son.
- Jánosy Lajos 1971. *A relativitáselmélet a fizikai valóság alapján*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Jánosy Lajos. 1971. *Theory of Relativity Based on Physical Reality*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Landau, Lev D. – Evgenij M. Lifsic 1976. *Elméleti fizika II. Klasszikus erőterek*. Budapest, Tankönyvkiadó.

- Laue, Max von 1921. *Die Relativitätstheorie. Erster Band. Das Relativitätsprinzip der Lorentz-transformation*. 4., bővített kiad. Braunschweig, Friedr. Vieweg und Sohn.
- Lorentz, Hendrik Antoon 1892/1907. Die relative Bewegung der Erde und des Äthers. In uő: *Abhandlungen über theoretische Physik*. Leipzig, Leibnitz B. G. Teubner. 443–447.
- Lorentz, Hendrik Antoon 1910. Das Relativitätsprinzip. In uő: *Alte und neue Fragen der Physik; Vorträge, gehalten in Göttingen vom 24–29. Oktober 1910*. Ausgearbeitet von Max Born. Zweiter Vortrag. *Physikalische Zeitschrift*. 11. 210–218.
- Maxwell, Nicholas 1966. Physics and Common Sense. *The British Journal for the Philosophy of Science*. 16/64. 295–311.
- Mermin, N. David 2009. What’s Bad about this Habit? *Physics Today*. 62/5. 8–9.
- Minkowski, Hermann 1908. Raum und Zeit. *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*. 18. 75–88.
- Petkov, Vesselin 2012. Introduction. In Vesselin Petkov (szerk.) *Hermann Minkowski: Space and Time. Minkowski’s Papers on Relativity*. Montreal, Minkowski Institute Press. 1–36.
- Prokhorovnik, Simon J. 1985. *Light in Einstein’s Universe*. Boston–Dordrecht etc., D. Reidel Publishing Company.
- Schilck, Moritz 1917. *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik*. Berlin, Springer.
- Schlick, Moritz 1972. Pozitivizmus és realizmus. Ford. Fehér Márta. In Altrichter Ferenc (szerk.) *A Bécsi Kör filozófiája*. Budapest, Gondolat. 93–133.
- Selleri, Franco 2009. *Weak Relativity: The Physics of Space and Time Without Paradoxes*. Montreal, C. Roy Keys Incorporated.
- Szegedi Péter 1987. Tudományfejlődés és kulturális légkör. *Világosság*. 28/10. 647–655.
- Szegedi Péter 1988. Determinisztikusa törekvések a kvantummechanikában. Történeti-filozófiai elemzés. *Filozófiai figyelő*. 10/1–2. 147–153.
- Székely László 2002. A világ „világtalanításának” stációja. Albert Einstein relativitáselmélete a létre vonatkozó heideggeri kérdés kontextusában. *Világosság*. 43/10–12. 139–155.
- Székely László 2006. E. Szabó László: *A nyitott jövő problémája Véletlen, kauzalitás és determinizmus a fizikában*. Bp. 2002. *BUKSZ*. 18/3. 280–283.
- Székely László 2007. Albert Einstein és a XX. századi fizika mitológiája. *Világosság*. 48/11–12. 127–143.
- Székely László 2009. Relativity in Terms of Measurement and Ether: Lajos Jánossy’s Etherbased Reformulation of Relativity Theory. In M. C. Duffy – J. Levy (szerk.) *Ether, Space-Time and Cosmology*. Montreal, Aperion. 2. kötet. 3–37.
- Székely László 2013. Interpretációk a fizikában. *Magyar Filozófiai Szemle*. 57/2. 67–84.
- Székely László 2015. A newtoni természetfilozófia leibnizi kritikája a 21. század elején. *Magyar Filozófiai Szemle*. 59/1. 129–146.
- Weinberg, Steven 2017. The Trouble with Quantum Mechanics. *The New York Review of Books*. 64/1. January 19.

