

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Bölcsészettudományi Kar

Doktori Disszertáció Tézisei

Gömöri Márton

The Principle of Relativity

An Empiricist Analysis

(A relativitás elve – empirista elemzés)

Filozófiatudományi Doktori Iskola

Vezetője: Boros Gábor, DSc, egyetemi tanár

Logika és Tudományfilozófia Program

Vezetője: E. Szabó László, DSc, egyetemi tanár

A bizottság tagjai:

A bizottság elnöke: Bodnár István, egyetemi tanár, CSc, egyetemi tanár

Felkért bírálók: Andréka Hajnal, DSc, professzor

Szabó Gábor, PhD, tudományos főmunkatárs

A bizottság titkára: Ambrus Gergely, PhD, egyetemi docens

A bizottság további tagjai: Máté András, CSc, egyetemi docens

Mekis Péter, PhD, adjunktus

Székely Gergely, PhD, tudományos munkatárs

Témavezető: E. Szabó László, DSc, egyetemi tanár

Budapest, 2015

A speciális relativitás elve szokásos megfogalmazásában a következőt állítja: „A fizika törvényei azonos alakúak minden inerciarendszerben”. Ez a fizika egyik leg-alapvetőbb elve, melyet először Galilei fogalmazott meg, alapvető tétele a newtoni mechanikának, alappozítulátuma az einsteni relativitáselméletnek, nélkülözhetetlen összetevője az alapvető kölcsönhatások kvantumelméletének, s amely egyúttal a fizikai törvények alakjára vonatkozó normatív elvként szolgál mindenfajta jövőbeli elmélet számára.

Míg a kiterjesztett, általános relativitási elv interpretációjával kapcsolatban súlyos viták vannak az irodalomban, addig abban konszenzus látszik lenni, hogy a *speciális* relativitási elv tökéletesen világos és problémamentes. Azonban ha egy pillanatra megállunk, és alaposabb tanulmányozásnak vetjük alá a relativisztikus fizika, s annak filozófiájának irodalmát, akkor összetettebb képet kapunk. A relativitási elv számos, néha metaforikus megfogalmazását találjuk, különböző, néha ellentétes értelmű nézeteket az elv tartalmára vonatkozóan, ellentmondásokkal terhes alkalmazásokat, az elv episztemológiai státuszának különböző értelmezéseit. A dolgozat célja, hogy az analitikus filozófiában bevett fogalmi elemzés szigorú módszerének segítségével ezek közül néhány problémát tisztázzunk.

A dolgozat első fele a relativitási elv *jelentésével* foglalkozik. Einstein 1905-ös cikkének elemzésével indítunk, melyben Einstein a relativitási elv posztulátumára alapozva fejti ki a speciális relativitáselméletet. Azonosítunk három különböző módját annak, ahogy Einstein az elvet alkalmazza a cikkben. Rámutatunk, hogy ezek nemhogy nem ekvivalensek egymással, de némelyik kettő együtt logikailag inkonzisztens.

Nem véletlen, számos nyilvánvaló kérdés merül fel a relativitási elv szokásos, egy-mondatos megfogalmazása kapcsán: Mi számít itt a fizika egy törvényének? Milyen értelemben lehet egy fizikai törvény egy inerciarendszerben? Mit jelent pontosan az, hogy két törvény azonos alakú? stb. Hogy e kérdéseket tisztázzuk, egy további példát tekintünk, amely egyike azon kevés példának, mellyel kapcsolatban teljes konszenzus van az irodalomban, hogy a relativitási elv esetének tekinthető, és amely minden tankönyvben szerepel. Ez a mozgó ponttöltés elektromágneses terének az esete. Kiolvasva e példából a válaszokat a fenti és azokhoz hasonló kérdésekre, Szabó 2004 nyomán a relativitási elv következő előzetes megfogalmazását adjuk:

A K inerciarendszerrel – mint egész – együtt mozgó fizikai rendszer viselkedésének leírása, kifejezve a K -val együtt mozgó mérőberendezések segítségével értelmezett mennyiségekben, ugyanolyan alakú, mint a K' inerciarendszerrel együtt mozgó ugyanolyan rendszer hasonló viselkedése-

nek leírása, kifejezve a K' -vel együtt mozgó ugyanolyan mérőberendezések és ugyanolyan mérési operáció segítségével értelmezett mennyiségekben.

A következő lépés, hogy e megfogalmazásnak precíz, matematikai formát adunk. Egy olyan formális, matematikai nyelvet konstruálunk, melyben a relativitás elve precíz, matematikai formában megfogalmazható, fizikai egyenletek megoldásaira vonatkozó állításként (Gömöri, Szabó 2015). A formális rekonstrukció előnye, hogy explicitté teszi az elv fogalmi komponenseit. A formalizmus további jellegzetessége, hogy egy olyan nyelvi keretet ad, amelyben szabatosan lehet olyan általános tudományos fogalmakról beszélni, mint „törvény”, „leírás”, „fizikai mennyiség”, stb. A formalizmus legfontosabb eredményeként a következőt bizonyítjuk:

1. Eredmény *A relativitási elv logikailag független a fizikai törvények Lorentz kovarianciájától – melyre általában a relativitási elv szinonimájaként szokás tekinteni.*

Az alapvető megfigyelés az eredmény mögött, mely könnyen kiolvasható a formalizmusunkból, a következő: a Lorentz kovariancia mindössze annyit garantál, hogy a K inerciarendszerbeli fizikai egyenletek egy tetszőleges F megoldása esetén, amelyet úgy értelmezhetünk, hogy az F által leírt szituációban a szóban forgó fizikai rendszer nyugszik a K -hoz képest, ezen F -nek a „Lorentz busztolt” változata is egy megoldása az egyenleteknek. Ezzel szemben a relativitási elv állításának lényege az, hogy a Lorentz busztolt leírás nem pusztán egy megoldás, hanem az a megoldás, amelyik ugyanazt a jelenséget írja le, mint az F megoldás, kivéve, hogy a szóban forgó rendszer mint egész mozog a K -hoz képest, egy másik K' inerciarendszerrel együtt.

Miután tisztáztuk a relativitási elv pontos jelentését, a dolgozat második fele azzal foglalkozik, hogyan *tudható*, hogy a relativitási elv igaz-e. Rámutatunk, hogy ez végső soron empirikus kérdés, annak ellenére, hogy az elvet gyakran metatörvényként tartjuk számon. Meglepő módon alig találunk hivatkozást az irodalomban egy efféle empirikus konfirmáció lehetőségére. Amit viszont találunk az irodalomban az nem problémamentes, két okból: 1) A relativitási elv, mint ezt az 1. Eredmény kapcsán láttuk, a kovarianciával van azonosítva. 2) A fizikai mennyiségek transzformációs szabályai, melyekkel szemben az egyenleteknek kovariánsoknak kell lenniük, a kovariancia előzetes *feltételezéséből* vannak levezetve – annak további diszkussziója nélkül, hogy vajon az így levezetett transzformációs szabályok tényleg helyesek-e. Amellett érvelünk, hogy ez az eljárás logikailag problematikus, s valójában a Lorentz kovariancia tulajdonságát egy tautológiába transzformálja. Az egyenleteknek nem azokkal a transzformációs szabályokkal szemben kell kovariánsoknak lenniük, amelyeket úgy *választunk meg*, hogy az egyenletek kovariánsak

legyenek, hanem azokkal az *igazi, fizikai* transzformációkkal szemben, amelyek a különböző inerciarendszerekben elvégzett méréseket összekapcsolják. Így annak eldöntése, hogy az egyenletek kovariánsak-e, lényegében az igazi, fizikai transzformációs szabályok meghatározását jelenti.

Mi tehát az alapvető fizikai mennyiségek transzformációs szabálya? Rámutatunk arra, hogy elsődlegesen ez is empirikus kérdés. Azonban természetes gondolat azt az elvet alkalmazni, melyet J. S. Bell (1987) „lorentzi pedagógiának” nevez, s amely szerint „a fizika egyetlen vonatkoztatási rendszerben érvényes törvényei tökéletesen számot tudnak adni az összes fizikai jelenségről, beleértve a mozgó megfigyelő megfigyeléseit is” – így tehát arról is, hogy mik a különböző inerciarendszerekkel együttmozgó megfigyelők által elvégzett mérések közötti transzformációs szabályok. A lorentzi pedagógia esettanulmányaként levezetjük az elektrodinamikai mennyiségek transzformációs szabályait egy adott inerciarendszerben érvényes elektrodinamikai törvények alapján, s egyúttal meghatározzuk, hogy az elektrodinamikai egyenletek kovariánsak-e ezen transzformációkkal szemben. Annak ellenére, hogy az elektrodinamikát a kovariáns fizikai elméletek prototípusának szokás tekinteni, meglepő módon ezt az elemzést még senki nem végezte el teljes körültekintéssel.

Hogy ez megtegyük, a kérdést, amit az elektrodinamika egy adott inerciarendszerben érvényes törvényeinek meg kell válaszolnia, pontosan kell megfogalmaznunk. Meg kell tudnunk mondani, hogy mik azok a mérési operációk, amelyek segítségével a mozgó megfigyelő az elektrodinamikai mennyiségek értékeit meghatározza. Ehhez mindenekelőtt tudnunk kell, hogy mik az elektrodinamikai mennyiségek operacionális definíciói. Mint kiderül, az elektrodinamikai mennyiségek precíz, cirkularitásmentes, koherens definíciónak megadása nem triviális probléma. Egy ilyen rendszerre teszünk javaslatot az elemzésünk elején (Gömöri, Szabó 2013).

A vizsgálat eredménye a következő. A lorentzi pedagógia alkalmazásával, az elektrodinamika egy adott inerciarendszerben érvényes törvényeinek alapján, anélkül, hogy a kovarianciát előzetesen feltételeznénk, megmutatjuk, hogy az elektrodinamikai mennyiségek transzformációs szabályai megegyeznek azokkal, amelyeket az elektrodinamika kovarianciájának előzetesen feltételezéséből szokás levezetni, s hogy ezáltal a kovariancia tényleg teljesül (Gömöri, Szabó 2014). Másszóval, a következőt bizonyítjuk:

2. Eredmény *Az elektrodinamikai mennyiségek transzformációs szabályai, amelyeket a kovariancia előzetesen feltételezéséből vezetünk le, s így maga a kovariancia feltevése is, konzisztens az elektrodinamika egyetlen inerciarendszerben érvényes törvényeivel.*

Az 1. Eredmény értelmében a kovariancia teljesülése nem jelenti a relativitási elv

teljesülését. Igaz-e tehát a relativitási elv? Vagy legalábbis levezethető-e a fizika egy adott inerciarendszerben érvényes törvényeiből? Abban, hogy ezek bármelyikét megválaszoljuk, a következő alapvető problémába ütközünk. A relativitási elv, az előzetes megfogalmazásunkkal összhangban, egy adott fizikai rendszer két különböző mozgásállapotbeli viselkedésének összehasonlításáról szól: az egyik, amikor a rendszer mint egész nyugszik egy K inerciarendszerben, a másik, amikor az mint egész mozog K -hoz képest, együtt mozogva egy másik K' inerciarendszerrel. Azonban, mint Szabó 2004 rámutatott, a „rendszer mint egész nyugszik/mozog” fogalmának jelentése homályos, nem egyértelmű, már egyszerű fizikai szituációk esetében is. A dolgozat utolsó részében azt demonstráljuk, hogy ez a fogalom különösen problematikus az elektrodinamika esetében. Egy minimális követelményt fogalmazunk meg, amelyet a szóban forgó egyenletek minden F megoldásának teljesítenie kell ahhoz, hogy a „rendszer mint egész mozog/nyugszik” fogalma értelmesen alkalmazható legyen a kérdéses fizikai rendszerre:

A szóban forgó egyenletek minden F megoldását kell, hogy tudjuk akként jellemezni, hogy az egyenletek tárgyát képező rendszer mint egész nyugszik vagy valamilyen sebességgel mozog, egy tetszőleges inerciarendszerhez képest.

Ezek után amellet érvelünk, hogy az elektrodinamika egyenleteinek egy általános megoldása még ezt a minimális feltételt sem teljesíti. Ezt az érvet a *perzisztencia* problémájának általános metafizikai kontextusában fejtük ki. Először rámutatunk, hogy a mozgás fogalma előfeltételezi a perzisztencia fogalmát. Ezután egy formális kondíciót fogalmazunk meg a szóban forgó entitást individuáló tulajdonságok terminusaiban, amely azt fejezi ki, hogy az entitás vagy legalábbis annak lokális részei perzisztálnak. Ezt a kondíciót a *perzisztencia egyenletének* nevezzük. Ezek után a következőt bizonyítjuk (Gömöri, Szabó 2014):

3. Eredmény *Az elektrodinamika egyenleteinek legtöbb megoldása nem teljesíti a perzisztencia egyenletét, ha az elektromágneses mező individuáló tulajdonságainak az elektromos és mágneses térerősségeket tekintjük.*

Ez a következőket látszik implikálni: 1) Miután a perzisztencia téridőbeli létezését jelent, problematikus, hogy az elektromágneses mező milyen értelemben tekinthető egy térben és időben létező reális entitásnak, azzal szemben, amit az elektrodinamika szokásos realiztikus interpretációi sugallnak. 2) Miután a mozgásállapot fogalma előfeltételezi a perzisztencia fogalmát, s a relativitási elv – a minimális követelményünk értelmében – a mozgásállapot fogalmát, a relativitási elv értelmezhetetlen

állítássá válik egy általános elektrodinamikai rendszer esetében. Ez a tény ellentétben áll azzal az elfogadott nézettel, hogy a relativitás elve univerzálisan érvényes minden fizikai jelenségre.

Hivatkozások

Bell, J. S. (1987): How to teach special relativity, in *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Cambridge, Cambridge University Press.

Gömöri, M., Szabó, L. E. (2015): Formal Statement of the Special Principle of Relativity, *Synthese* **192** (7), 2053–2076, DOI: 10.1007/s11229-013-0374-1

Gömöri, M., Szabó, L. E. (2014): How to move an electromagnetic field?, (<http://philsci-archive.pitt.edu/10766/>).

Gömöri, M., Szabó, L. E. (2013): Operational understanding of the covariance of classical electrodynamics, *Physics Essays* **26**, 361.

Szabó, L. E. (2004): On the meaning of Lorentz covariance, *Foundations of Physics Letters* **17**, 479.