Mivel éppen egy könyvet írok, amelyben érintem a Lorentz-elmélet kontra relativitáselmélet témát is, és mivel a Lorentz-elméletet nem szokás tanítani, az előző hozzászólásom háttéranyagaként itt mellékelem a kézirat néhány oldalát.

Mond-e a relativitáselmélet bármit is a térről és az időről?

1. Természetesen, elvben minden fizikai elmélet empirikusan aluldeterminált, ami azt jelenti, hogy azok az empirikus tények, melyeket az elmélet kísérleti tesztjének tekinthetünk, elvben sok más elmélettel is reprodukálhatók lennének, legalábbis ennek lehetősége sohasem zárható ki. A relativitáselmélet esetében azonban egy egészen konkrét alternatíva létezésével kell szembe néznünk. Ez a Lorentz-elmélet. A két elmélet kísérletileg megfogható következményei teljes egybeesést mutatnak, ugyanakkor radikális különbség van a két elméletben feltételezett tér-idő struktúrában. A Lorentz-elmélet kizárólag a Maxwell-egyenletekből kiindulva, minden extra feltevés nélkül, levezeti a Lorentz-Fitzgerald kontrakciót valamint az időtágulatációt, s ezzel megmagyarázza a Michelson-Morley kísérlet eredményét, és minden egyéb kísérleti következményét a relativitáselméletnek. Ugyanakkor, a Lorentz-elméletben feltételezett téridő a Newtoni felfogásnak megfelelő, vagyis olyan, hogy a különböző vonatkoztatási rendszerekben az idő ugyanaz, két pont távolsága nem függ a vonatkoztatási-rendszertől, stb. (A tudománytörténet/tudományszociológia egyik nagy rejtélye, egyébként, hogy milyen, feltehetően kultúrtörténeti okok magyarázzák, hogy a két lehetséges elmélet közül, melyek egyaránt jól egyeznek a kísérleti tapasztalattal, miért nem a Lorentz-elmélet vált elfogadottá, amely egyszerűen csak a jól ismert Maxwell-féle elektrodinamikára hivatkozik, és semmiféle forradalmi változást nem követel meg a térre és időre vonatkozó intuíciókban, hanem az einsteini (sőt, Minkowski-féle) relativitáselmélet, amely ugyanezt az eredményt annak árán éri el, hogy közben fel kell adnunk a térre és időre vonatkozó legalapvetőbb fogalmaikat, korábbi intuitív szemléletünket, és szinte abszurd következményeket kell természetesnek tekintenünk.)

2. Mivel a Lorentz-elmélet nem része a standard fizika kurzusoknak, talán érdemes itt röviden bemutatni, miről is van szó[1].

A Lorentz-elmélet feltételezi, amint azt a maxwelli elektrodinamikában tesszük, hogy az elektrodinamikai egyenletei egy adott inerciarendszerben igazak. Ennek az inerciarendszernek abban az értelemben kitüntetett szerepe lesz, hogy az egyenleteket itt tekintjük érvényesnek, és minden további megfontolásunk ezen a rendszeren alapszik. Nevezhetjük ezt az éterhez rögzített vonatkoztatási rendszernek is, de ennek most itt nincs jelentősége. Tekintsünk egy q ponttöltést, amelyik állandó v sebességgel mozog a z -tengely irányába. Egy ilyen töltés elektromágneses tere a Maxwell-egyenletek szerint a következő:

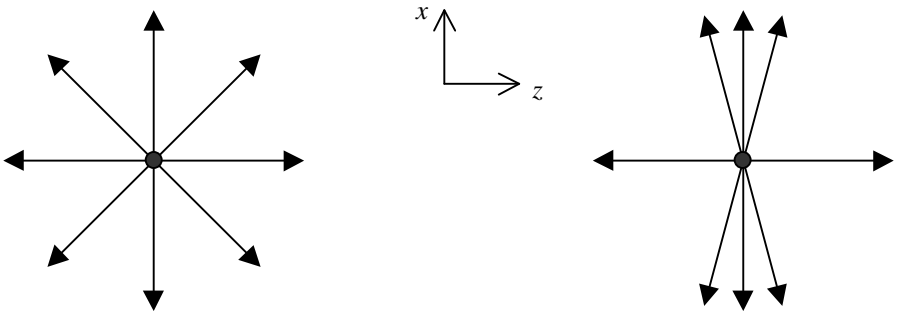
$$
\begin{aligned}
E_z &= qz'\left(x^2+y^2+z'^2\right)^{-\frac{3}{2}} & B_x &= -\frac{v}{c}E_y \\
E_x &= qx\left(x^2+y^2+z'^2\right)^{-\frac{3}{2}}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} & B_y &= \frac{v}{c}E_x \\
E_y &= qy\left(x^2+y^2+z'^2\right)^{-\frac{3}{2}}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} & B_z &= 0
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

ahol

[1] A Lorentz-elmélet rövid és rendkívül világos összefoglalását olvashatjuk J. S. Bell „How to teach special relativity” című cikkében, Bell 1987, pp. 67-80. Az elmélet részletes kifejtését találjuk, a nemzetközi irodalomban is gyakran hivatkozott, Jánossy 1973-ban. Különösebb előismeretek nélkül is jól olvasható Jánossy Lajosnak, a témáról írott ismeretterjesztő könyve, Jánossy 1969.

$$z' = \frac{z - z_q(t)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

és $z_q(t)$ a töltés helye a t pillanatban. Világos, hogy a $v = 0$ esetben visszakapjuk a nyugvó



Nyugvó töltés tere

A z-irányba mozgó töltés tere

1. Ábra *A Maxwell-egyenletekből levezethetően a mozgó pontöltés körüli elektromos erővonalak belapulnak.*

töltés gömbszimmetrikus Coulomb-terét. A mozgó töltés elektromos tere a mozgás irányára merőleges síkban „belapul", ahogyan azt a 1. ábra mutatja. Most nézzük meg, hogy hogyan módosul egyetlen atomban az elektron pályája az atommag mozgása következtében. Elhanyagolva a mag gyorsulását, az elektron $\mathbf{r}(t)$ pályájára a következő mozgásegyenletet kapjuk:

$$m\,\ddot{\mathbf{r}} = -e\left(\mathbf{E}(\mathbf{r}) + \frac{1}{c}[\dot{\mathbf{r}}, \mathbf{B}(\mathbf{r})]\right) \tag{2}$$

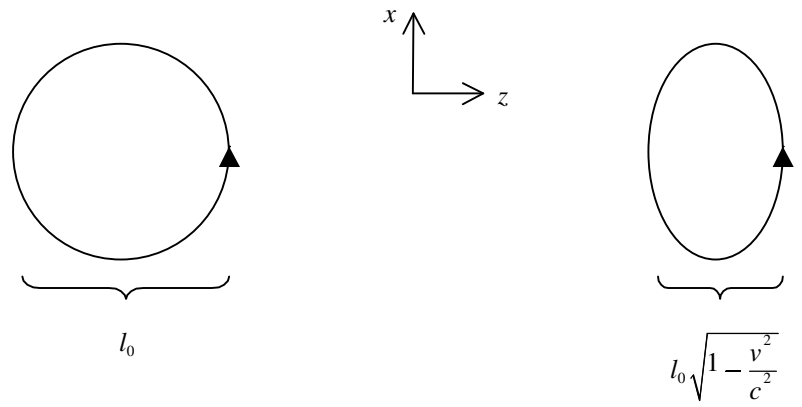
Figyelembe véve a Lorentz-féle, empirikusan ismert, tömegnövekedési formulát:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\dot{\mathbf{r}}^2}{c^2}}} \tag{3}$$

a mozgásegyenlet ez:

$$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\dot{\mathbf{r}}^2}{c^2}}}\,\ddot{\mathbf{r}} = -e\left(\mathbf{E}(\mathbf{r}) + \frac{1}{c}[\dot{\mathbf{r}}, \mathbf{B}(\mathbf{r})]\right) \tag{4}$$

A fenti mozgásegyenletet pl. komputeren megoldva azt találjuk, hogy az elektron pályája szintén „belapul", ahogyan azt a **2**. ábrán láthatjuk.



2. Ábra *A mozgó atomban az elektronpályák éppen úgy deformálódnak, hogy az atom átmérője a mozgás irányában* $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ *arányú kontrakciót szenved·*

Hasonlóképpen kiszámolható a ciklus periódusideje: Ha a nyugalmi periódusidő T_0, akkor a mozgó atomban

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Vagyis nem csak a Lorentz-kontrakciót, hanem, erre a speciális esetre, az idődilatációt is levezettük. De ugyanerre az eredményre jutunk, ha például egy mozgó doboz két szemközti oldalára szerelt tükrök közötti lézersugár oda-vissza futásának periódusidejét számítjuk ki (3 . Ábra).

3. Ezek csak a legegyszerűbb modell-számítások. Az irodalomban ismertek részletesebb anyagmodelleken elvégzett hasonló számolások, és azok is a szokásos eredményekre vezetnek. Vagyis minden jel arra mutat, vonta le Lorentz a következtetést, hogy a mozgó testek elektrodinamikai leírása általában olyan eredménnyel zárul, hogy az objektumok hosszúságai a mozgás irányában

$$l_0 \mapsto l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \tag{5}$$

kontrakciót szenvednek[2], és a testekben lezajló folyamatok tipikus időintervallumai a nyugalmi helyzetben végbement ugyanilyen folyamatok ugyanazon időintervallumaihoz képest az alábbi formulának megfelelően dilatációt szenvednek:

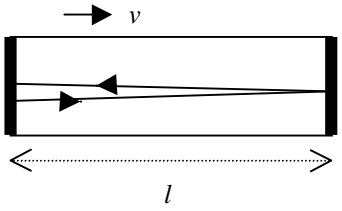
[2] Talán érdemes itt megjegyeznem, hogy a Lorentz-kontrakció máig egyetlen kísérleti bizonyítéka szintén az elektromos erővonalaknak a 1. Ábrán szemléltetett deformációján alapszik. Egy ködkamrában mozgó töltött részecske ionizációs csatornája az erővonalaknak a részecske sebességére merőleges irányban történő „besűrűsödése” következtében kiszélesedik. Ezt a kiszélesedést lehet pontosan megfigyelni.

$$\Delta t_0 \mapsto \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{6}$$

Lorentz azt is észrevette, hogy az éterhez viszonyított mozgás hatása a fizikai rendszerek viselkedésére egy sajátos törvényszerűséget mutat: nevezetesen a *mozgó* fizikai rendszerre vonatkozó számolás eredménye érdekes alakot ölt, ha az eredményt a következő új változókban fejezzük ki:

$$x' = x \quad y' = y \quad z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad t' = \frac{t - \frac{vz}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{7}$$

Az eredmény ugyanis ezekben a változókban kifejezve nem más, mint az ugyanilyen *álló*



$$T = \frac{2l}{c} \quad \text{(ha a doboz áll)}$$

$$T' = \frac{l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{c-v} + \frac{l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{c+v} = \frac{T}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{(ha a doboz mozog)}$$

3. Ábra *Az álló vonatkoztatási rendszerben elvégzett egyszerű számítással meghatározható a fényjel futamideje a két mozgó tükör között, figyelembe véve a doboz hosszának Lorentz-kontrakcióját is.*

rendszerre vonatkozó eredmény a

$$t \mapsto t' \text{ és } x, y, z \mapsto x', y', z' \tag{8}$$

helyettesítéssel. Számos esetre ellenőrizve, ez mindig így van. Ennek alapján megfogalmazhatjuk a Lorentz-elvet:

*A **mozgó** fizikai rendszer viselkedését megkapjuk, ha az ugyanilyen **álló** rendszer viselkedésére vonatkozó feladatot oldjuk meg, és az eredményekben elvégezzük a (8) helyettesítést.*

Ezek az új változók, egyébként, nem mások, mint azok az „idő” és „tér” (Az idézőjel nagyon fontos!) koordináták, melyeket a mozgó objektumhoz rögzített vonatkoztatási-rendszerbeli — vagyis mozgó, és így deformált — órákkal és méterrudakkal mérnénk. Így a Lorentz-elvet a következőképpen is kimondhatjuk:

A fizika törvényei olyanok, hogy minden fizikai rendszer az éterhez viszonyított mozgás hatására úgy deformálódik (értsd ez a mozgás úgy módosítja a rendszer viselkedésére vonatkozó, a fizika

szokásos törvényeiből levezetett eredményeket), hogy ebből az eredményből nem állapítható meg egyetlen vonatkoztatási rendszernek sem az éterhez viszonyított sebessége.

Vegyük észre, hogy ez az elv nem más, mint a relativisztikus fizika Lorentz-kovariancia elvének a Lorentz-elméletebeli megfelelője. *Ezért tehát, amíg a világ empirikus tényeit a relativisztikus fizika leírja, addig a Loretz-elmélet is ugyanezt megteszi!*

4. Tanulságos végiggondolnunk, hogy hogyan néz ki a világ, a Lorentz-elméletet alapul véve, egy az éterhez képest mozgó megfigyelő számára.[3] Álljon itt egy hosszabb passzus Bellnek a már fentebb hivatkozott cikkéből, melyben igen plasztikusan írja le, mit tapasztalunk, ha a világot egy mozgó rendszerből figyeljük meg.

A mozgó megfigyelőre vonatkozó kérdés nem teljesen akadémikus. Nem rakétákban száguldó emberekre kell gondolni, hanem arra, hogy magát a Nap körül keringő Földet jó okunk van — legalábbis az év nagy részében — mozgó vonatkoztatási rendszernek tekintenünk. A lényeg, amit a Lorentz-invariancia alapján a mozgó megfigyelőről meg kell állapítanunk, hogy *azok a vesszős változók, melyeket a fentiekben csupán matematikai segédletként vezettünk be, nem mások, mint amiket egy állandó sebességgel mozgó, ugyanakkor magát nyugvónak képzelő megfigyelő természetes módon a helyes változóknak gondol.* Továbbá, a fizika törvényei ezekben a változókban kifejezve pontosan úgy festenek, mint ahogyan azt a mozgó megfigyelő, még amikor nyugalomban volt, az iskolában megtanulta (feltéve, hogy helyesen tanították meg neki).

Egy ilyen megfigyelő, hívjuk őt mondjuk Alice-nek, természetes módon egy hozzá képest nyugvó pontot fog koordinátarendszere origójául választani. Ezzel pontosan rögzítettük a vt tagot a

$$z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

összefüggésben. Alice méterrúdjai pedig pontosan a $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ faktornak megfelelő mértékű Fitzgerald-kontrakciót szenvedik el. De hogy lehet, hogy nem látja, hogy a méterrúdjai összehúzódnak amikor z irányba fekteti őket, és meghosszabbodnak, amint x irányba elforgatja? Ennek az a magyarázata, hogy Alice szemének retinája szintén kontrahálódik, és így ugyanazok a sejtek érzékelik a méterrúd képét, mint ha a rúd is és a megfigyelő is nyugalomban lenne. Hasonlóképpen, Alice nem érzékeli, hogy órája lelassult, mert ezzel együtt lelassult saját gondolkodásának ritmusa is. Továbbá arról sem fog tudni, hiszen magát nyugalomban lévőnek képzeli, hogy a tőle távolodó és feléje közelítő fényjelek különböző, $c \pm v$, relatív sebességgel haladnak. Ez aztán ahhoz vezet, hogy Alice helytelenül szinkronizálja az egymástól távoli órákat, és végül azt fogja hinni, hogy a

$$t' = \frac{t - \frac{vz}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

a valódi idő, már csak azért is mert ezzel a választással *úgy tűnik számára*, hogy a fény terjedési sebessége minden irányban c. Ez közvetlenül ellenőrizhető, valamint levezethető a Maxwell-egyenletekből is. Az elektromos térerősség mérése során Alice a saját mérőberendezéséhez képest nyugvó próbatöltést fog használni, miáltal valójában $\mathbf{E}$ és $\mathbf{B}$ egy kombinációját fogja méri. A mozgó töltésekre vonatkozó jól ismert effektusok segítségével definiálva $\mathbf{E}$ -t és $\mathbf{B}$ -t, valójában $\mathbf{E}'$ -höz és $\mathbf{B}'$ -höz jut, ahol

[3] A hazai fizikatörténet egy igen tanulságos epizódja az a már-már személyes indulatokig fokozódott polémia, amely a magyar nyelvű szakirodalomban a hatvanas években folyt le az einsteini relativitáselmélet egyik jeles hazai elterjesztője, Novobátzky Károly és a már hivatkozott Jánossy Lajos között. Novobátzky (1964) könyvének utószavában éles hangon bírálja Jánossyt és a Lorentz-elméletet. Novobátzky egyik végső ellenérve az volt, hogy a Lorentz-elmélet képtelen konzisztens magyarázatot adni arra az esetre vonatkozóan, amikor egy mozgó megfigyelő egy álló rúd kontrakcióját figyeli meg.

$$E_x' = \frac{E_x - \frac{v}{c}B_y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad E_y' = \frac{E_y - \frac{v}{c}B_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad E_z' = E_z$$

$$B_x' = \frac{B_x + \frac{v}{c}E_y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad B_y' = \frac{B_y - \frac{v}{c}E_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad B_z' = B_z$$

Mindezek után Alice ellenőrizheti a fizika törvényeit, és örömmel tapasztalhatja, hogy azok pontosan olyanok, mint ahogyan emlékszik rájuk, s hogy az alkalmazott definíciók és eljárások jól működnek. Ha valami mégsem stimmel, akkor hamar rájön, hogy valamelyik berendezése meghibásodott (például megrongálódott a gyorsítás során), és megjavítja.

Tekintsünk most egy álló megfigyelőt, Bobot. Mivel Alice magát nyugalomban lévőnek hiszi, úgy gondolja, hogy Bob az, aki mozog. És könnyen kifejezhetjük az Alice által használt változókat a Bob által használtakkal, és viszont, csak v előjelét kell megváltoztatni:

$$x' = x \quad y' = y \quad z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad t' = \frac{t - \frac{vz}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$x = x' \quad y = y' \quad z = \frac{z' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad t = \frac{t' + \frac{vz'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Alice azt állítja majd, hogy Bob méterrúdjai kontrahálódtak, órája lassabban jár, és hogy Bob helytelenül szinkronizálta az egymástól távoli órákat. Alice, megértően úgy gondolja majd, hogy Bob azért használ rossz változókat, mert műszerei Fitzgerald-Larmor-Lorentz-Poincaré-kontrakciót szenvedtek. Ahogyan Alice látja a világot, az logikailag teljesen konzisztens, és tökéletes összhangban van a megfigyelt tényekkel. Bobnak semmi esélye sincs, hogy meggyőzze tévedéséről.[4]

Bell elemzéséből kitűnik, hogy téves az a gyakori ellenvetés, hogy a Lorentz-elmélet nem képes számot adni egy álló rúdnak a mozgó megfigyelő rendszerében tapasztalt kontrakciójáról, hiszen — szól az ellenérv — az álló rúd kontrakcióját nem okozhatták a Lorentz által feltételezett, az éterhez viszonyított mozgásból származó fizikai deformációk. A fenti elemzés világosan megmutatta, hogy az álló rúdnak a mozgó megfigyelő által észlelt kontrakciója nagyon is jól értelmezhető, méghozzá éppen a mozgó megfigyelő *mozgó* méterrúdjaiban és *mozgó* óráiban bekövetkezett fizikai deformációk következményeként.

5. Ezzel teljessé tettük annak bemutatását, hogy a fizika empirikusan megragadható tartalmait illetően az Einstein-féle relativitáselmélet és a Lorentz-elmélet teljesen ekvivalens, más szóval a két elmélet között kísérletek segítségével dönteni, lehetetlen.

Végezetül, még csak egy, az irodalomban gyakran felbukkanó tévedést szeretnék eloszlatni. Lorentz elméletéről olvasva gyakran találkozni a következő megfogalmazással:

> A [Michelson-Morley] kísérlet negatív eredménye arra késztette Lorentzet, hogy *feltételezze* [kiemelés tőlem]: az éterhez viszonyított mozgás hatására a mozgás irányába eső távolságok megrövidülnek (ez a Fitzgerald—Lorentz-féle kontrakciós hipotézis), és így kompenzálja azt a jelenséget, amely minden más esetben fellépne.[5]

Nos, a Lánczos Kornéltól származó fenti idézet egy súlyos félreértést tükröz. A Lorentz-elméletben semmiféle plusz *feltevést* nem kell tenni arra vonatkozóan, hogy az éterhez képest mozgó fizikai rendszerek éppen úgy deformálódnak, hogy az kompenzálja a Michelson-Morley-kísérletben egyébként fellépő effektust. A mozgó objektumok deformációja nem *hipotézis*, hanem

---

[4] Bell (1987), pp. 75-76.

[5] Lánczos (1976), p. 233.

következmény! A standard fizikai elméletek, jelesül a Maxwell-egyenletek következménye, melyet egy egyszerű, az éterhez rögzített, newtoni téridő-geometria szerinti számolással *levezethetünk*.

Mellesleg, nem kell, hogy valaki elfogadja a Lorentz-elméletet ahhoz, hogy ezeket a deformációkat lássa. Az einsteini relativisztikus fizika alapján ugyanerre az eredményre jutunk. Tessék kiszámítani, egy adott (akár az éterhez képest nyugvó!) vonatkoztatási rendszerben egy mozgó rúd elektrodinamika szerinti viselkedését Ezt nem csak úgy végezhetjük el, hogy feltesszük (a Lorentz-kovariancia miatt egyébként jogosan), hogy a rúd hossza a vele együtt mozgó rendszerben megegyezik az ugyanilyen nyugvó rúd hosszával az álló vonatkoztatási rendszerben, majd a Lorentz-transzformációt alkalmazzuk: A számolás — nyílván bonyolultabban — úgy is elvégezhető, hogy a rúd egy alkalmas fizikai modelljét alapul véve kiszámítjuk, mi történik vele, ha mozog.[6] Ez a számolás direkt módon elvégezhető abban a vonatkoztatási rendszerben, amelyben a rúd mozog. A számolás eredménye az, hogy a rúd kontrahálódik, méghozzá a szó legszorosabb, valóságos, fizikai értelmében.

6. Visszakanyarodva eredeti témánkhoz, látjuk tehát, hogy a Lorentz-elmélet és a relativitáselmélet kísérletileg meg nem különböztethető módon ekvivalens. A két elmélet azonban radikálisan különbözik abban, amit a téridő geometriájáról, térről, időről, egyidejűségről, stb. állít. A Lorentz-elmélet ugyanis semmi újat nem tételez fel a newtoni téridő-képhez képest.

Felmerül a kérdés, le lehet-e vezetni egy fizikai elméletből bármilyen, a téridő geometriájára, és általában, szerkezetére vonatkozó állítást. Minden bizonnyal Poincarénak van igaza, aki úgy gondolta, hogy nem. A térre és időre vonatkozó állításaink konvencionálisak. Képletesen szólva

$$(\text{téridő geometria}) + (\text{fizika}) = (\text{valóság empirikus tényei})$$

Mi döntjük el, hogy hol választjuk szét a geometriát és a fizikát, vagyis lehetséges több

$$(\text{téridő geometria})' + (\text{fizika})' = (\text{valóság empirikus tényei})$$
$$(\text{téridő geometria})'' + (\text{fizika})'' = (\text{valóság empirikus tényei})$$
$$\vdots$$

Ugyanez a helyzet a Lorentz-elméletre és a relativitáselméletre nézve:

$$(\text{newtoni téridő}) + (\text{Lorentz-elmélet}) = (\text{valóság empirikus tényei})$$
$$(\text{Minkowski-téridő}) + (\text{reltivisztikus fizika}) = (\text{valóság empirikus tényei})$$

Ha tehát a két elmélet közötti választás, és ezzel a két téridő-geometria közötti választás szabad, abban az értelemben, hogy egyiket sem kényszeríti ki mindaz, amit a világból empirikusan megfigyelünk, akkor a legnagyobb tudománytörténeti talányok egyike, hogy a századforduló éveiben miért éppen az einsteini relativitáselméletet választották az emberek. S, még ha meg is találjuk ennek a választásnak a kultúrhistóriai motivációit, érthetetlen, hogy miért tartja magát a relativitáselmélet napjainkig. Hiszen ugyanaz a fizikai tartalom leírható anélkül is, hogy a térre és az időre vonatkozóan olyan radikális, a józanésznek ellentmondó feltevéseket tegyünk, mint amit a relativitáselmélet tesz.

Bármennyire is érdekes ez a kérdés, itt most nem térhetünk ki ennek taglalására. Eredeti témánk szempontjából az a fontos, hogy a téridő geometriájából semmiféle lényegi következtetés nem vonható le a világ determinisztikus vagy indeterminisztuk jellegére nézve, hiszen, mint láttuk, a téridő geometriája maga is csupán választás, megállapodás kérdése.

---

[6] Hogy egy tankönyvi példával megvilágítsam, milyen két számolásról van szó, vegyük azt a tipikus feladatot, amikor meghatározzuk egy mozgó ponttöltés elektromágneses terét. A feladatot kétféle úton is megoldhatjuk: 1) vesszük az együttmozgó rendszerben a nyugvó töltés Coulomb-terét, és visszatranszformáljuk a térerősségeket az álló rendszerbe. (Ez az egyszerűbb, szokásos tankönyvi eljárás.) 2) Közvetlenül megoldjuk a Maxwell-egyenleteket az álló vonatkoztatási rendszerben.

Bibliográfia

Bell, J. S. (1987): *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge.

Jánossy, Lajos (1969): *Relativitáselmélet és fizikai valóság*, Gondolat, Budapest.

Jánossy, Lajos (1973): *Relativitáselmélet a fizikai valóság alapján*, Akadémiai Kiadó, Budapest.

Novobátzky, Károly (1964): *A relativitás elmélete*, 3. kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest.