Úgy látom, hogy álláspontom kis konfúziót okozott, ezért szeretném most a mondandómat három jól elválasztott pontba szedni. Nulladik pontként, előtte, deklarálni, hogy nem folytatom a polémiát a két órás kontra három órás verziót szeressük ügyben, nekem mindegy.

I. Relativitáselmélet, Loretz-elmélet és a téridő szerkezete

1. Álláspontom megegyezik Poincare álláspontjával, mely szerint egy fizikai elméletből nem vezethetjük le, hogy milyen a téridő (tér és idő) (geometriai) szerkezete. A térre és időre vonatkozó állításaink konvecionálisak. Képletesen szólva

(téridő geometria) + (fizika) = (valóság empirikus tényei)

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

(téridő geometria)' + (fizika)' = (valóság empirikus tényei)

(téridő geometria)'' + (fizika)'' = (valóság empirikus tényei)

…

Az Einstein-féle relativity és a Lorentz-elmélet közötti viszony is ez:

(Einstein-féle relativity)+(Minkowsky-téridő)=(empirikus tények)

(Lorentz-elmélet)+(newtoni téridő)=(empirikus tények)

2. Most válaszolnék arra a (szkeptikus) kérdésre, hogy vajon a Lorentz-elmélet valóban képes-e minden empirikus tényt reprodukálni. Válaszom, igen, amennyiben a relativitáselmélet képes. De, hogy megvilágítsam miről is van szó, kell még valamit mondanom a Lorentz-elméletről.

Lorentz tehát kiszámolta hogyan módosul egy fizikai rendszer viselkedése, ha az éterhez képest mozog. Pl. egyszerű modell keretei között azt kapta, hogy egy szilárd rúd éppen a $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ faktorral kontrahálódik, valamint egy egyszerű óraszerkezet járása ugyanezen faktorral lelassul. Lorentz azt is észrevette, hogy ha egy rendszer mozog az éterhez képest, akkor a *mozgó* rendszerre vonatkozó (közönséges klasszikus pl. el. dim.) számolás eredménye érdekes alakot ölt, ha az eredményt a következő új változókban fejezzük ki:

$$\begin{aligned} z' &= \frac{z - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ x' &= x \\ y' &= y \\ t' &= \frac{t - \frac{vz}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \qquad (1)$$

(a test a z-tengely irányába mozog v sebességgel). Az eredmény ugyanis ezekben a változókban kifejezve nem más, mint az ugyanilyen *álló* rendszerre vonatkozó eredmény a

$$t \mapsto t' \quad \text{és} \quad x, y, z \mapsto x', y', z' \qquad (2)$$

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 viselkedését leíró eredményekben elvégezzük a (2) helyettesítést.*

Ezek az új változók, egyébként, nem mások, mint az az „idő" és „tér" (az idézőjel nagyon-nagyon fontos!!!) koordináta, amit a mozgó objektumhoz rögzített vonatkoztatási-rendszerbeli — vagyis mozgó, és így deformált — órákkal és méterrudakkal mérnénk. Így az elvet a következőképpen is kimondhatnánk:

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.

Olyan ez, mind az energia megmaradás törvénye. Ahol a fizika törvényei és egyéb információk alapján képesek vagyunk a folyamatok részleteit végigszámolni, ott látjuk, hogy igaz. Feltesszük hát, hogy univerzálisan teljesül.
Vegyük észre, hogy ez az elv nem más (dehogynem más, de eredményeiben ugyanaz), mint a relativisztikus fizika Lorentz-kovariancia elve.
Ezért tehát, amig a világ empirikus tényeit a relativisztikus fizika leírja, addig a Loretz-elmélet is!

3. A két elmélet azonban teljesen különbözik azt illetően, hogy mit állít a téridő geometriájáról, térről, időről, egyidejűségről stb. A Lorentz-elmélet semmi újat nem tételez fel a newtoni téridő képhez képest.

A 1. pontban mondottak alapján azonban nem gondolom, hogy itt bármiféle platonizmusról lenne szó az Einstein-Minkowski-féle relativitáselméletben. Ha Székely Laci csak azt mondaná, hogy egyéb filozófiai megfontolásból szimpatikusabb a (Lorentz)+(newtoni téridő) választás (minthogy választhatunk!), akkor azzal egyetértenék.

II. A Lorentz-elmélet válasza Székely Laci kérdésére

4. Hogy „Miért járt lassabban az utaztatott óra, mint az álló?"

Térre és időre vonatkozó elképzelés

A két óra ugyanannyit *öregedett*.

A mutatók állására vonatkozó válasz

Az eltelt idő alatt azonban (most itt az egyszerűség kedvéért az álló rendszerről felteszem, hogy az éterhez képest áll, de ennek igazából nincs jelentősége <hiszen nem is tudhatjuk, hogy áll-e>, csak azért, hogy az álló rendszer órájával mért valamit gátlástalanul *időnek* nevezhessem) az egyik mutatója nem ugyanannyit fordult el, mint a másik. Hogy lássuk, a fizika törvényei hogyan adnak erről a különbségről számot, két módszert követhetünk.

1) Essünk neki, és számoljuk ki az óra szerkezetét, működését stb. figyelembe véve, hogy hogyan módosul ez a működés a mozgás hatására. Semmi mást nem kell ehhez tudni, mint hogy miből áll az óra, és alkalmazni kell (többnyire) a Maxwell-egyenleteket. S ha minden igaz, szépen kijön, aminek ki kell jönnie. (Remélem olyan vitákba, hogy ez magyarázat-e, nem megyünk most bele. Éppen úgy magyarázat ez, mint ha arra a kérdésre „miért nem esik le a mozgó repülőgép és miért esik le az álló" válaszképpen szépen kiszámoljuk a hidrodinamika egyenleteiből, hogy mikor milyen felhajtó erők hatnak egy adott alakú szárnyprofilra, és kijön, hogy az állóra semmi, a mozgóra meg éppen akkora, amekkora kell.)
2) A másik lehetőség, hogy nem végezzük el ezt a részletes számolást, hanem hivatkozunk a (a sok ilyen számolás során beigazolódott) Lorentz-elvre. Vagyis úgy határozzuk meg, hogy hogyan működik a mozgó óra, hogy vesszük az ugyanilyen álló órát, és a

viselkedését leíró formulákban elvégezzük a (2) szerinti változóhelyettesítést. Ha tehát, az álló óráról feltesszük, hogy időt mér, vagyis, hogy a mutatójának elfordulása arányos az eltelt idővel,

$$\varphi_{\text{álló}} = k \cdot \left(t_1 - t_0\right) \tag{3}$$

ahol k egy az óra struktúrájától, stb., függő állandó, akkor a mozgó óra elfordulásának szöge

$$\varphi_{\text{mozgó}} = k \cdot \left(t_1' - t_0'\right) = (t_1 - t_0)\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \tag{4}$$

A Lorentz-elv segítségével, éppen úgy, mint néha az energia megmaradás tételével, bonyolult feladatok kiszámolását egy egyszerűbb feladat kiszámolására vezethetjük vissza.

III. A relativitáselmélet válasza Székely Laci kérdésére

5. A kérdés tehát ugyanaz.

A térre és időre vonatkozó beszéd

A két óra nem ugyanannyit öregedett, mert a Minkowski-térben a világvonalaik ívhossza nem ugyanannyi.

A mutatók állásának különbségére adott magyarázat

A mutatók állásának különbségét három különböző módszerrel magyarázhatjuk meg a relativisztikus fizikában:

1) Visszavezetés a téridő geometriájára: A fizikai tartalma ennek a magyarázatnak abban áll, hogy feltesszük, hogy a mozgó óra a saját vonatkoztatási rendszerében eltelt időt méri. Ha ezt valaki vitatja, akkor kérhet erre további bizonyítékot, és lehet is adni, lényegében az alább következő második módszerrel. De, ha ezt elfogadjuk, akkor természetesen csak annyit kell tenni, hogy a Minkowski-térben a Pithagorász-tétellel kiszámoljuk az ívhosszat és kész. (Ez a szokásos tankönyvi kiszámolása a két ikertestvér korának.)
2) Nekiesünk és a relativisztikus fizika törvényei szerint kiszámítjuk, hogyan működik a mozgó óra. Tekintsük ezt megint, az egyszerűség kedvéért egy csupán elektrodinamikai számolásnak. Az egész számolás elvégezhető az álló vonatkoztatási rendszerben. Olyan ez, mint mikor a mozgó ponttöltés elektromágnesen terét nem úgy oldjuk meg (ahogyan egyszerűbb), hogy vesszük a mozgó rendszerben a nyugvó töltés Coulomb-terét és vissza Lorentz-transzformáljuk, hanem direktbe megoldjuk az álló rendszerben a Maxwell-egyenleteket. A számolás és az eredmény ugyanaz, mint a Lorentz-féle számolás a **4.** point 1)-ben. S nyilván az eredmény is kijön.
3) A Lorentz-kovarianciára hivatkozással, azt tesszük, mint az előbb példaként már említett mozgó pontöltés terének kiszámításánál szokás: a mozgó órával együtt mozgó rendszerben az óra nyugszik. A kovariancia elvéből következően egy ugyanolyan óra ugyanúgy viselkedik minden olyan rendszerben, amelyben nyugszik. Tehát, ha az álló óra úgy viselkedik, hogy mutatója a (3) szerint fordul el, ahol a t most annak a rendszernek az idejét jelenti, amelyben az óra áll, akkor a mozgó rendszerben is az óra mutatója ugyanilyen törvény szerint a vele együtt mozgó rendszerbeli idővel arányosan fordul el:

$$\varphi_{\text{mozgó}} = k \cdot \left(t_1' - t_0'\right)$$

Itt most t', a téridő struktúrájáról mondott állításoknak megfelelően valóban idő, az órához rögzített vonatkoztatási rendszerbeli idő. Kifejezve ezt a Lorentz-transzformáció segítségével az álló rendszer tér és idő koordinátáival, megkapjuk (4)-et.

6. Mármost úgy tűnik, ha jól értem, hogy pl. Ván Péter nagyon elégedett az **5.** pont 1) megoldással, és ezzel nincs egyedül, hiszen a legtöbb fizikus is az, és a tankönyveink zöme is az. (Most nem reagálnék itt a modell, meg matematika és hasonló okfejtésekre.) Székely Laci pedig nagyon elégedetlen ezzel, és ebben neki teljesen igaza van. De ez nem jelenti azt, hogy nincs az óra lassabban járásának reális, fizikai magyarázata. Éppen úgy van, mint az olyan jelenségeknek, hogy „miért más a mozgó töltés tere, mint az álló töltésé?, pl. miért szélesebb a gyorsan mozgó ion kondenzációs csíkja a ködkamrában, mint a lassú ioné?" (ez ugye ugyanaz a kérdés). Feltételezem, hogy a válasz, amire Székely Laci vágyott, az az **5.** 2) pontban adott magyarázat. De ami engem illet, én igazán megnyugtató válasznak a **4.** 1)-et gondolom.

Üdv mindenkinek,
Szabó László**.**