A „nyitott jövő” problémája

véletlen, kauzalitás és determinizmus a fizikában

(Részlet)

E. Szabó László

Nem publikus kézirat!
(2000. Április 20.)

Megtudhatunk-e a relativitáselméletből bármit is a térről és az időről?

1. Mint láthattuk, Putnam tétele komoly nehézséget vet fel az indeterminizmus számára. A „nyitott jövő"-höz mindenek előtt „jövő" kell. És az események múlt–jelen–jövő-típusú meghatározottságának nehéz objektív értelmet tulajdonítanunk a relativitáselmélet téridő szemlélete szerint. Úgy tűnik, a sors könyve egyetlen lapból áll. Ez a lap négydimenziós. És erre az egyetlen négydimenziós lapra fel van írva az univerzum egész története.

Felmerül a kérdés, mennyire kell komolyan vennünk mindazt, amit a relativitáselmélet a térről és időről állít?

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]

[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).

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 irányában. Egy ilyen töltés elektromágneses tere a Maxwell-egyenletek szerint a következő:

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

ahol

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

és $z_q\left(t\right)$ a töltés helye a t pillanatban. Világos, hogy a $v=0$ esetben visszakapjuk a nyugvó 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 $\mathbf{r}\left(t\right)$ pályájára a következő mozgásegyenletet kapjuk:

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

Figyelembe véve a Lorentz-féle, empirikusan ismert, tömegnövekedési formulát:[2]

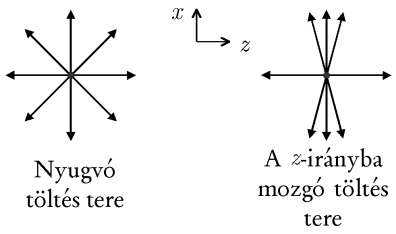
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\dot{\mathbf{r}}^2}{c^2}}}$$

a mozgásegyenlet ez:

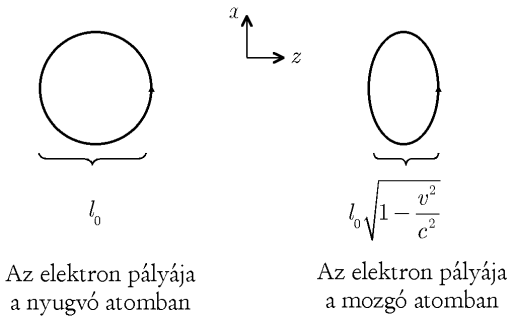
$$\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\dot{\mathbf{r}}^2}{c^2}}}\,\ddot{\mathbf{r}} = -e\left(\mathbf{E}\left(\mathbf{r}\right) + \frac{1}{c}\left[\dot{\mathbf{r}},\mathbf{B}\left(\mathbf{r}\right)\right]\right)$$

A fenti mozgásegyenletet (például komputeren) megoldva azt találjuk, hogy az elektron pályája szintén „belapul", ahogyan azt a 1. ábrán láthatjuk.

[2] A tömegnövekedési formula a relativisztikus fizikában is empirikus ténye a világnak, hiszen a relativisztikus mechanikát a téridő geometriájáról tett állításokat követően külön kell „megalkotnunk", vagyis – mint minden máas fizikai elméletet – az empíriára építünk.



1. Ábra: *A Maxwell-egyenletekből levezethetően, a mozgó ponttöltés körüli elektromos erővonalak belapulnak*



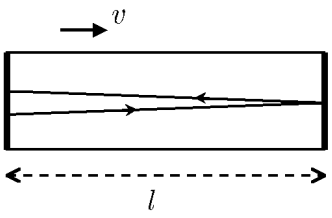
2. Ábra: *A mozgó atomban az elektronpályák deformálódnak: az atom átmérõje a mozgás irányában* $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ *arányú kontrakciót szenved*

3. 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. Ugyanerre az eredményre jutunk, ha például egy mozgó doboz két szemközti oldalára szerelt tükrök közötti lézersugár oda-vissza futásának periódusidejét számítjuk ki (3. ábra).

4. 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



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. Ha a doboz áll:* $T = \frac{2l}{c}$. *Ha mozog:* $T' = \frac{l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{c-v} + \frac{l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{c+v} = \frac{T}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

eredménnyel zárul, hogy az objektumok hosszúságai a mozgás irányában

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

kontrakciót szenvednek,[3] és a testekben lezajló folyamatok tipikus időintervallumai a nyugalmi helyzetben végbement ugyanilyen folyamatok ugyanazon időintervallumaihoz képest az alábbi formulának megfelelően dilatációt szenvednek:

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

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:

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

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

$$t \mapsto t' \text{ és } x, y, z \mapsto x', y', z' \tag{2}$$

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

[3] 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.

> *A* ***mozgó*** *fizikai rendszer viselkedését megkapjuk, ha az ugyanilyen* ***álló*** *rendszer viselkedésére vonatkozó feladatot oldjuk meg, és az eredményekben elvégezzük a 2 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!*

5. Tanulságos végiggondolnunk, hogy hogyan néz ki a világ, a Lorentz-elméletet alapul véve, egy az éterhez képest mozgó megfigyelő számára.[4] 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).

[4] 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.

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 mérni. 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

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

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

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.[5]

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.

6. 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 érdemes néhány, az irodalomban gyakran felbukkanó tévedést eloszlatnunk. Lorentz elméletéről olvasva gyakran találkozunk a következő megfogalmazással:

> A [Michelson-Morley] kísérlet negatív eredménye arra késztette Lorentzet, hogy *feltételezze* [kiemelés tőlem – Sz. L.]: 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.[6]

Nos, a Lánczos Kornéltól származó fenti idézet egy súlyos félreértést tükröz. A Lorentz-elméletben semmiféle plusz *feltevést* nem kell tenni arra vonatkozóan,

[5] Bell (1987), pp. 75-76.
[6] Lánczos (1976), p. 233.

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

7. Mellesleg, nem kell, hogy valaki elfogadja a Lorentz-elméletet ahhoz, hogy ezeket a deformációkat lássa. Az einsteini relativisztikus fizika alapján ugyanerre az eredményre jutunk. Nem érthetünk tehát egyet Novobátzkynak az alábbi, Einsteinek címzett, bíráló megjegyzésével, melyet Einstein relativitáselméletről szóló ismeretterjesztő könyvének magyar kiadása elé írt bevezetőjében[7] tesz:

> A mozgó pálcák megrövidüléséről és a mozgó órák lelassulásáról szóló fejezetet bizonyos hiányérzettel olvassuk el. Nélkülözzük annak kiemelését, hogy sem a pálcákban, sem az órákban nem történik semmi *objektív* változás, tisztán a nyugalmi és mozgási mérőszámok különbözők.

Tessék kiszámítani, egy adott (akár az éterhez képest nyugvó!) vonatkoztatási rendszerben egy mozgásba hozott 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.[8] Ez a számolás direkt módon elvégezhető abban a vonatkoztatási rendszerben, amelyben a rúd mozog. A számolás eredménye az, hogy *a relativisztikus fizika törvényeinek megfelelően* a rúdban nagyon is *valóságos, fizikai* változás megy végbe: a rúd hossza, *ugyanebben az inerciarendszerben*, megváltozik.

A relativisztikus fizika törvényei szerint, a változás mértékének kiszámolását persze egyszerűbben is elvégezhetjük, ha abból indulunk ki, hogy a rúddal együttmozgó rendszerben a rúd hossza ismét a nyugalmi hossz, melyet Lorentz-transzformálunk az eredeti inerciarendszerbe. A rúd hosszának megváltozása éppannyira objektív fizikai változás, mint egy töltés elektromos terének megváltozása, ha mozgásba hozzuk. Mint már utaltam rá (8. lábjegyzet), éppenséggel ezt is kiszámíthatjuk úgy, hogy vesszük a töltéssel együttmozgó rendszerbeli nyugvó töltés Coulomb-terének Lorentz-transzformáltját. Ez nem változtat azonban azon a fizikai tényen, hogy a mozgásba hozott töltés tere megváltozik. Például a töltés által egy ködkamrában létrehozott kondenzációs csík,

[7] Novobátzky (1967), p. 7.

[8] 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. 2) Közvetlenül megoldjuk a Maxwell-egyenleteket az álló vonatkoztatási rendszerben.

e változás következtében, kiszélesedik. Ez a kiszélesedés egy valóságos, objektív kiszélesedés!

8. 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 térről, időről, egyidejűségről állít. A Lorentz-elmélet ugyanis semmi újat nem tételez fel a newtoni téridő-képhez képest.

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 – legalábbis első pillantásra[9] – radikális, a józanésznek ellentmondó feltevéseket tegyünk, mint amit a relativitáselmélet tesz. Bármennyire is érdekes ez a kérdés, itt most nem térhetünk ki ennek taglalására.

A téridő geometriájának eredendően konvencionális jellege

9. A fenti vizsgálódásainkból azt látjuk, hogy a téridő geometriája konvenció kérdése. 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

$$\begin{aligned}(\text{téridő-geometria})' + (\text{fizika})' &= (\text{valóság empirikus tényei}) \\ (\text{téridő-geometria})'' + (\text{fizika})'' &= (\text{valóság empirikus tényei})\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}(\text{newtoni téridő}) + (\text{Lorentz-elmélet}) &= (\text{valóság empirikus tényei}) \\ (\text{Minkowski-téridő}) + (\text{reltivisztikus fizika}) &= (\text{valóság empirikus tényei})\end{aligned} \tag{3}$$

[9] A **14.** pontban még visszatérünk arra, hogy valóban radikális és a szemléletünkkel ellentétes kijelentéseket tesz-e a relativitáselmélet a térről és időről.

Poincaré álláspontját egy nagyon világos példán mutatta meg: Gondoljunk el kétdimenziós lényeket, akik arra vannak kárhoztatva, hogy egy közönséges euklideszi körlap belsején éljék életüket (4. ábra). Vannak méterrúdjaik, melyekkel távolságot tudnak mérni. A körlap hőmérséklete a középponttól kifelé haladva a $T(r) = T_0\left(R^2 - r^2\right)$ formula szerint csökken. Méterrúdjaik a hőmérséklettel arányosan változtatják hosszukat, tehát a kör széléhez közelítve a méterrudak hossza tart nullához. Poincaré megmutatta, hogy ha e körlap lakói úgy veszik, hogy méterrúdjaik hossza mindenütt egyforma, akkor arra a konklúzióra jutnak, hogy *egy végtelen kiterjedésű, konstans negatív görbületű Bolyai–Lobacsevkszki-felületen* élnek. Vagyis megint a geometria és a fizikai elmélet együtt kell, hogy megfeleljen mindannak, amit e kétdimenziós lények műszereikkel és érzékszerveikkel a világból tapasztalnak:

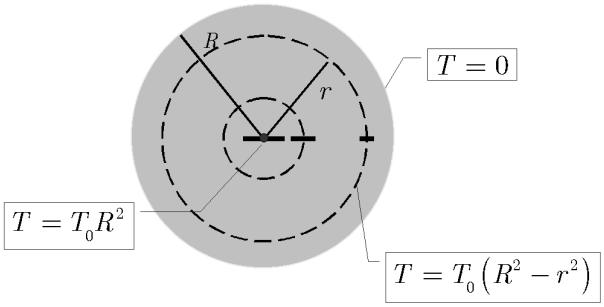
$$\left(\begin{array}{c}\text{Bolyai–Lobacsevszki-}\\ \text{geometria}\end{array}\right) + \left(\begin{array}{c}\text{a világ hőmérséklete}\\ \text{állandó}\end{array}\right) = (\text{empirikus tények})$$

$$(\text{euklideszi geometria}) + \left(\begin{array}{c}\text{avilág hőmérséklete:}\\ T(r) = T_0\left(R^2 - r^2\right)\end{array}\right) = (\text{empirikus tények})$$

Mint ismeretes, az első nem-euklideszi geometriák megalkotásakor Gauss kísérletileg akarta eldönteni, hogy melyik a „helyes" geometria. Igaza volt-e Gaussnak? Egy kicsit igen és nagyon nem! Egyáltalán nem volt igaza, ha azt akarta így eldönteni, hogy a nem-euklideszi geometriák helyesek-e, mint matematikai konstrukciók. Ez nem empirikus kérdés. Kis leegyszerűsítéssel azt mondhatjuk, a matematikus olyan matematikai struktúrát hoz létre, amilyet csak akar, feltéve, hogy a struktúrát értelmező axiómarendszer ellentmondásmentes, s hogy a konstrukció eleget tesz még néhány tradicionális elvárásnak. Ha ezeket valaki geometriának nevezi, szíve joga, legfeljebb a publikálásnál fogják tőle számon kérni, hogy milyen analógiák alapján nevezi így. Ha Gauss a fényjelekből képzett háromszög szögeinek összegét azért kívánta megmérni, mert ezzel arra keresett választ, hogy melyik geometria írja le helyesen a fényjelek viselkedését, akkor egy kicsit igaza volt. Persze, végső soron nem volt igaza mégsem, hiszen a geometriát, magát, az empirikus megfigyelésekből nem lehet kiolvasni, csak a fizikai elmélettel együtt.

10. Összegezve tehát, matematikai értelemben sokféle geometria létezhet, és létezik. Abban a pillanatban, azonban, amikor azt kérdezzük, „empirikus-e a geometria", vagyis eldönthető-e egy geometriai kérdés empirikusan, a geometriára nem egyszerűen, mint matematikai elméletre gondolunk, hanem, mint egy olyan elméletre, amely a világra vonatkozik. S mint ilyent, máris a világról szóló (jelesül fizikai) elméletünk tartozékaként kell felfognunk. Ennek megfelelően, csak e fizikai elmélettel együtt vethető alá az empirikus konfirmációnak. Ebben a minőségében azonban, mint Reichenbach helyesen hangsúlyozza,[10] empirikusan szerzett tudásunk része.

[10] Reichenbach (1951), pp. 133-137.



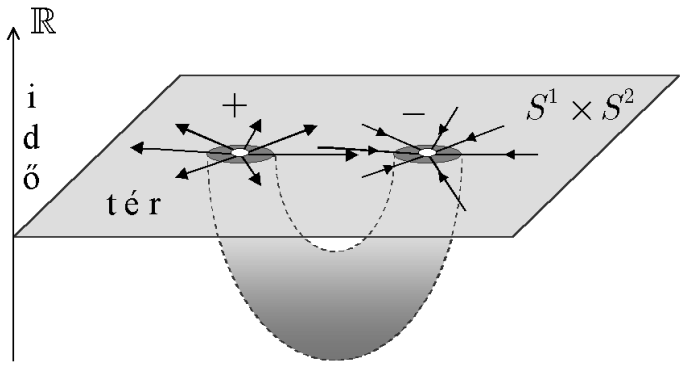
4. Ábra: *Képzeljünk el olyan kétdimenziós lényeket, akik egész életüket egy euklideszi körlap belsejében élik le. Vannak méterrúdjaik, melyekkel távolságot tudnak mérni. A körlap hőmérsékleteloszlása nem homogén. A középponttól kifelé haladva a* $T(r) = T_0(R^2 - r^2)$ *formula szerint csökken. Tegyük fel az egyszerűség kedvéért, hogy méterrúdjaik a hőmérséklettel arányosan változtatják hosszukat, tehát a kör széléhez közelítve a méterrudak hossza tart nullához. Könnyen belátható, hogy ha e körlap lakói úgy veszik, hogy méterrúdjaik hossza mindenütt egyforma, akkor arra a konklúzióra jutnak, hogy egy végtelen kiterjedésű, konstans negatív görbületű Bolyai–Lobacsevkszki-felületen élnek*

11. Azt hihetnénk a fenti elemzések alapján, hogy a téridőnek csak a metrikus tulajdonságai konvencionálisak, vagyis csak azok a tulajdonságok, melyek meghatározzák az egyes események téridőbeli távolságát. S hogy a topológiája a téridő struktúrájának olyan eleme, amely nem konvenció-jellegű. A következő példán keresztül szeretnék rámutatni, hogy ez nem igaz.

Misner és Wheeler mutatták meg először,[11] hogy a *vákuum* Einstein-egyenleteknek létezik megoldása az $S^1 \times S^2 \times \mathbb{R}$ topológiában, vagyis egy olyan téridő sokaságon, melyben a térszerű hiperfelületek topológiája $S^1 \times S^2$. Ezeket a képződményeket nevezte Wheeler „féreglyukaknak". A megoldás érdekessége, hogy a féreglyuk két szája körül a téridő geometriája olyan, mintha egy-egy külső Schwartzschild-megoldás lenne, vagyis a vákuum egy ilyen topológiában úgy viselkedik, mintha ott nagy pontszerű *tömegek* lennének. Ezt a jelenséget nevezte Wheeler úgy, hogy „tömeg, tömeg nélkül". Wheeler azt is megmutatta, hogy a csatolt *vákuum* Einstein-Maxwell-egyenleteknek is létezik megoldása a féreglyuk topológiában. Ilyenkor a féreglyuk két szája nem csak tömegként, hanem *töltésként* is viselkedik, miközben a tereknek nincsenek a valóságban forrásaik, hiszen vákuum megoldásról van szó, vagyis töltéseket látunk töltés nélkül (5. ábra). Wheeler példájával élve, ha egy fizikushallgatónak úgy alakítanánk a tantervét, hogy először megtanítanánk neki a topológiát, utána megtanulná a vákuum elektrodinamikát, vagyis a Maxwell-egyenleteket úgy, hogy nem szerepelnek benne töltések és áramok, majd ezek után bevinnénk egy laboratóriumba és demonstrálnák neki egy ponttöltés körüli elektromos mező erővonalait, akkor

[11] Misner–Wheeler (1957); Wheeler (1962); Misner–Thorne–Wheeler (1973), 44. Fejezet.

ez a diák felkiáltana, „Jé, itt egy lyuk van a térben, a tér nem egyszeresen összefüggő!".



5. Ábra: *"Töltés, töltés nélkül". Az Einstein–Maxwell-egyenletek csatolt vákuum megoldása az $S^1 \times S^2 \times \mathbb{R}$ topológiában. A féreglyuk két szája körül az elektromos mező olyan, mintha ott egy pozitív illetve negatív töltés lenne, miközben az elektromos mezőnek nincsenek forrásai, mert vákuum megoldásról van szó*

12. Megmutatható,[12] hogy a tömeghez és az elektromos töltéshez hasonlóan létezik „Yang-Mills töltés, Yang-Mills töltés nélül", vagyis a többi kölcsönhatást leíró fizikai mezők töltései is generálhatók a tér nem egyszeresen összefüggő topológiájával.

Tehát a téridő topológiájában is van egy konvencionális elem:

$$\left(\begin{array}{c}\text{egyszeresen összefüggő}\\ \text{topológia}\end{array}\right)+\left(\begin{array}{c}\text{fizikai mezők}\\ \text{és töltések}\end{array}\right)=(\text{empirikus tények})$$

$$\left(\begin{array}{c}\text{nem egyszeresen}\\ \text{összefüggő topológia}\end{array}\right)+\left(\begin{array}{c}\text{fizikai mezők}\\ \text{töltések nélkül}\end{array}\right)=(\text{empirikus tények})$$

Vegyük észre azt a tudományfilozófiai szempontból figyelemreméltó körülményt, hogy a téridő topológiájában és geometriájában fennálló konvencionalitás egyben a fizikai elméletek konvencionalitását is jelenti: a fizikai létezők olyan *esszenciális attribútumainak*, mint a tömeg és a különböző töltések, már a puszta *létezése* is csupán konvenció kérdése. Ezzel együtt, ismételten hangsúlyoznunk kell, hogy a téridő struktúrájának elmélete és a fizikai elméletek, együtt, már a valóság empirikusan tesztelhető tényeit írják le.

[12] Szabó (1982a); (1982b)

13. Poincaré konvencionalizmusa kapcsán heves vita bontakozott ki az irodalomban arról, hogy vajon a tér dimenziója is egy konvenció csupán, mint ahogyan ezt Poincaré szintén felveti, vagy természeti tény. Poincaré a következőt írja:

> A fizikai törvényeket differenciálegyenletekkel írjuk le, amelyekben az anyagi pontok *három* koordinátája szerepel. Nem lehetne esetleg ezeket a törvényeket más egyenletekkel kifejezni, ahol ez esetben más, négy koordinátával jellemzett anyagi pontok jelennének meg.[13]

A dimenzió konvencionalitását nyílván úgy lehetne a legelegánsabban bemutatni, ha felmutatnánk egy a fenti példánkhoz hasonló olyan alternatív „Fizika $(n \neq 3)$" elméletet, melyre igaz lenne, hogy

$$\text{(3-dimenziós geometria)} + \text{(Fizika(3))} = \text{(empirikus tények)}$$
$$(n \neq \text{3-dimenziós geometria}) + (\text{Fizika}(n \neq 3)) = \text{(empirikus tények)}$$

Logikailag nyílván megtehető például, hogy $n > 3$ esetén a Fizika (3)-hoz hozzáveszünk olyan axiómákat, amelyek egyszerűen megszorítják az anyagi pontok térkoordinátáit egy 3-dimenziós altérre (részsokaságra). Vagy például háromnál kisebb dimenzióban a fennmaradó térkoordinátákat nem geometriai, hanem valamilyen fizikai változóknak tekintjük. Persze ettől el lehet gondolni tetszetősebb megoldásokat is. Nem célunk itt, hogy ilyeneket most kitaláljunk, csupán arra szeretnék rámutatni, hogy azok a határozott érvek, melyeket Poincaréval szemben szoktak megfogalmazni, tévesek. Egyik ilyen gyakran hangoztatott érv Ehrenfest-től származik.[14] Ehrenfest szerint, a tér háromdimenziós volta „empirikus, fizikai tény". A ponttöltés tere ugynis $E(r) = \frac{kQ}{r^2}$, tehát a távolság négyzetével csökken, ami csak háromdimenziós térben igaz – hangzik az érv –, hiszen más dimenzióban a Poisson-egyenlet megoldása nem $\frac{1}{r^2}$-es összefüggésre vezet. Ami a Poisson-egyenletet illeti, ez igaz. Az érvelés azonban ott téved, amikor természetesnek veszi, hogy egy tetszőleges n-dimenziós geometriát előfeltételezve, az elektrosztatikai jelenségekre vonatkozó empirikus észleléseink egy n-dimenziós Poisson-egyenletre vezetnének. Ezt nemhogy nem garantálja semmi, hanem – mint az Ehernfest által felmutatott problémákból is kitűnik – egyenesen lehetetlen! A Fizika$(n \neq 3)$ nem egyszerűen abból áll, hogy a Fizika (3) minden formulájában, ahol a dimenzió megjelenik, a hármast kicseréljük n-re. Például a Maxwell-egyenletek, melyekből az elektrosztatika Poisson-egyenletét származtatjuk, nem-háromdimenziós térben fel sem írhatók a szokásos alakjukban, hiszen a rotációnak csak három dimenzióban van értelme (legalábbis csak ott lesz egy vektor). Hasonlóképpen a vektoriális szorzatnak sincs értelme, csak három dimenzióban. Vagyis a fizika törvényei egy más dimenzióban nem a 3-dimenziós fizikai törvények „kézenfekvő matematikai általánosítása" útján tárhatók fel, hanem úgy, hogy a legelemibb empirikus

[13] Gorelik (1987), p. 54.
[14] Ibid. p. 97.

tapasztalatainktól elindulva, egy nem-háromdimenziós geometria nyelvén mindent újrafogalmazunk, és egy új fizikát építünk fel. Ember legyen a talpán, aki előre megmondja, hogy mi lenne egy ilyen programnak a végeredménye!

Nem látunk példát ennek a programnak még csak a részleges megvalósítására sem,[15] hiszen nincs semmilyen praktikus motivációja annak, hogy ezt megtegyük. Itt most csupán az a fontos, hogy Poincarénak az a felvetése, hogy esetleg a dimenzió is csupán konvenció kérdése, nem alaptalan, és hogy az ellenkezőjére nincs semmilyen empirikus, fizikai bizonyíték.

14. Látjuk tehát, hogy a téridő geometriájának van egy eredendően konvencionális jellege, abban az értelemben, hogy különböző, a térdidő struktúrájára vonatkozó előfeltevések mellett, ugyanazokat az empirikus tényeket, különböző fizikai elméletekkel lehet leírni. Ami a relativitáselmélet és a Lorentz-elmélet közötti választás konvenció-jellegét illeti, a helyzet sokkal rosszabb. Poincaré kétdimenziós koronglakói úgy választhatják a Bolyai–Lobacsevszki-geometriát, hogy cserében megszabadulnak egy furcsa fizikai feltevéstől, hogy tudniillik korongviláguk hőmérsékleteloszlása nem homogén, s hogy ennek következtében méterrúdjaik kitágulnak és összehúzódnak, ha egyik helyről a másikra viszik őket. A relativitáselméletben viszont úgy választjuk a Minkowski-geometriát, hogy közben semmiféle „fizikai jelenség"-től nem szabadulunk meg. Az órák a relativitáselmélet szerint is lelassulnak, és a rudak a relativisztikus fizika szerint is kontrahálódnak. Tehát a 3-ben vázolt séma nem is fejezi ki pontosan a két elmélet viszonyát.

Filozófiai szempontból (vagy ha tetszik, józanésszel) joggal kérdezhetjük meg: Ha egyszer a méterrudak és órák, a relativisztikus fizika törvényei szerint, jól értett módon, a szó legmateriálisabb értelmében deformálódnak, amikor mozgásba hozzuk őket, akkor miért pont ezekkel a *deformált* órákkal és méterrudakkal definiáljuk azt, hogy mi az idő és a tér a mozgó inerciarendszerben?

A relativitáselmélet híve erre nyilván azt válaszolhatná, hogy hiszen a kiindulásul vett („nyugvó") inerciális rendszerről sem tudjuk, hogy hogyan mozog az éterhez képest, s hogy ennélfogva ebben a rendszerben nyugvó méterrudak és órák is (feltehetően) helytelen idő- és térkoordinátákat definiálnak. Tehát felejtsük el azt, hogy „helyesen" és „helytelenül" definiált tér és idő! Minden vonatkoztatási rendszer egyformán jogosan a saját nyugvó órái és méterrúdjai segítségével definiálhatja, hogy mi a tér és mi az idő, az adott rendszerben.

A Lorentz-elmélet híve ezzel szemben azt mondja: Igen! Nem tudjuk, hogyan mozog a kiindulásul vett „nyugvó" inerciális rendszerünk az éterhez képest, ebben az értelemben a méterrúdjaink és óráink (feltételezhetően) nem a „helyes" koordinátákat mérik, amennyiben „helyes" koordináták alatt az éterben nyugvó mérőeszközökkel definiált koordinátákat értjük. Vagyis csupán arról van szó, hogy nem tudjuk, hogy a párizsi *Bureau International des poids et mésures*

[15] Azokat a részecskefizikában manapság gyakori spekulatív játék-modelleket, ahol a dimenzió különbözik háromtól, nem tekinthetjük e program részének, hiszen ezekben az esetekben pontosan az a rossz stratégia valósul meg, hogy a három dimenzióban felépített fizikai elméletek bizonyos helyein az „$n = 3$"-at egyszerűen kicseréljük valami másra.

vitrinjében őrzött méterrúd milyen hosszú lenne, ha nem ott állna, hanem hozzánk képest valami ismeretlen sebességgel – az éterhez képest nyugvó rúdként – száguldana. E bizonytalanság azonban nem akadályoz meg minket abban, hogy – a mindenféle metrikus rendszer alapjainál felmerülő *triviális szemantikai konvencionalizmus*[16] adta jogunknál fogva – ezt a konkrét méterrudat a hosszúság mértékegységét definiáló *etalonnak* tekintsük. S hogy az univerzum lehetséges méterrúdjai közül etalonnak éppen egy az éterben Párizzsal együtt úszó méterrudat választottunk, még nem implikálja, hogy ne lenne a különböző vonatkoztatási rendszerek számára egyetlen közös tér- és időfogalom, s hogy ne kellene egyik inerciarendszerből a másikba átgyorsított rudakon bekövetkezett deformációt figyelembe venni, ha őt a másik rendszerben is távolság mérésére kívánjuk használni.

A relativitáselmélet híve nem is vitatja, sőt figyelembe is veszi ezeket a deformációkat, amikor különböző vonatkoztatási rendszerekben mért koordinátákat hasonlít össze. De fenntartja magának a jogot, hogy a párizsi méterrúdhoz képest mozgó, ennélfogva deformálódott méterrúddal mért mennyiséget *távolságnak* nevezze, mondván, hogy ezzel a deformált méterrúddal együtt mozgó minden más fizikai objektum is ugyanilyen mértékben deformálódik.

Nem tudom, hogyan lehet e két felfogás között igazságot tenni. Mindkét elmélet jól-definiált fizikai mennyiségekkel, és egymással kompatibilis módon írja le a világot. A nyelv sok mindent kibír: az egyik tér- és időkoordinátának nevez olyan mérhető, fizikai mennyiséget, amit a másik nem nevez térnek és időnek, és viszont.

15. E kettős nyelvhasználatnak azonban érdemes tudatában lennünk! Ezzel eltűnnek a relativitáselmélet „furcsaságai", azok a „meglepő újdonságok", amelyek első hallásra kontra-intuitívnek tűnnek. Ennek illusztrálására vegyük például a sebesség összeadására vonatkozó, „szemléletünkkel ellentétes" formulát. Tehát, egy kocsi a mi (álló, párizsi, talajhoz rögzített) rendszerünkben v sebességgel mozog. A tetején egy másik kocsi w sebességgel mozog az alatta fekvő másikhoz képest. Mekkora a felső kocsi sebessége a talajhoz képest? Válasz:

$$V = v + w \tag{4}$$

Ez az a válasz, amit a Lorentz-elmélet alapján mondanánk, ez az a válasz, ami a szemléletünkkel nem ellentétes. S mint majd mindjárt látjuk, ezt a választ adja a relativitáselmélet is! Mi is itt a w sebesség? A két kocsi relatív sebessége. Mi az? Erre, a mindennapos szemléletünk alapján azt válaszolnánk, helyesen, hogy a két kocsi sebességének a különbsége. Tehát 4 triviálisan igaz. Most megkérdezhetjük azt, hogyan mérné meg ezt a relatív sebességet egy olyan laboráns, aki fent áll az alsó kocsi tetején. Nos, magával vinné a párizsi méterrúd egy másolatát a kocsi tetejére. Figyelembe venné, hogy a v sebességgel mozgó méterrúd kontrahálódik, és a hossza csak $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ méter. Ezzel lemérné, azt

[16] Ahogyan Grünbaum (1974) nevezi azt a tézist, hogy semmiféle tudományos terminus nem vezethető be valamifajta definíció nélkül.

a távolságot, amit a felső kocsi elmozdul az alsó kocsi tetején egy bizonyos idő alatt. Mondjuk, hogy ez a távolság akkora, hogy a méterrúd $\tilde{x}$-szer fér rá. Ebből kiszámítja, hogy a megtett út (a kocsi tetején)

$$x = \tilde{x}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Most kiszámolja mennyi idő alatt történt mindez. Az órájáról szintén tudja, hogy lassabban jár, ennek megfelelően a stopperjén leolvasott $\tilde{t}$ másodpercnek megfelelő idő

$$t = \frac{\tilde{t}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Innen kiszámíthatja a relatív sebességet:

$$w = \frac{x}{t}$$

A relativitáselmélet és a Lorentz-elmélet hívei megegyeznek abban, hogy erre a w relatív sebességre fennáll a hagyományos összeadási szabály. Mint ahogyan abban is egyetértenek, hogy a V sebesség az alábbi módon is kifejezhető:

$$V = v + w = v + \frac{x}{t} = v + \underbrace{\frac{\tilde{x}}{\tilde{t}}}_{\tilde{w}} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = v + \tilde{w}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

Sőt abban, is hogy

$$V \neq v + \tilde{w}$$

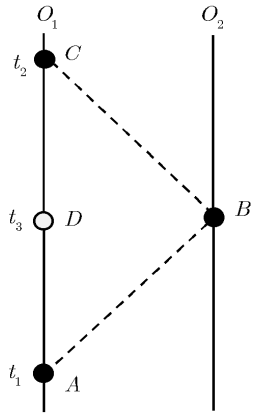
Semmiféle „szemléletünkkel ellentétes" állítás nem történt! Ami egy kicsit zavaró, és szemléletünkkel valóban ellentétes, hogy a relativitáselmélet hívei a fent bevezetett, egyébként teljesen értelmes és világos $\tilde{w}$ fizikai mennyiséget az egyik kocsinak a másikhoz viszonyított „relatív sebességének" nevezik. De mint mondtuk, a nyelv sok mindent kibír. Ha világosan megmondjuk mit értük e terminus alatt, akkor ennek semmi akadálya!

16. Eredeti témánk szempontjából az a fontos, hogy a téridő geometriájából semmiféle lényegi következtetés nem vonható le a világ determinisztikus vagy indeterminisztikus jellegére nézve, hiszen, mint láttuk, a téridő geometriája maga is csupán választás, megállapodás kérdése.

A Lorentz-elmélet és a relativitáselmélet ekvivalenciáján felbuzdulva az indeterminizmus hívei azt gondolhatnák, hogy csupán vissza kell térni a newtoni téridő geometriájához, s ezzel máris elhárulnak azok a nehézségek, melyeket a Putnam-tétel hozott felszínre. A helyzet azonban ettől bonyolultabb, mert a következő fejezetben a tételt olyan formában mondjuk ki, hogy az a Lorentz-elméletben is igaz lesz.

Az egyidejűség ontológiai státusza

17. Régóta folyik a vita a relativitáselmélettel kapcsolatos filozófiai irodalomban arról a kérdésről, vajon a távoli események egyidejűségének fogalma, ahogyan azt az elmélet definiálja, csupán konvenció, vagy a természet egy ténye. Túl azon a már említett *triviális szemantikai konvencionalizmuson*, hogy semmiféle tudományos terminus nem vezethető be valamifajta definíció nélkül, a gondosabb analízis azt mutatja, hogy az egyidejűség fogalma elkerülhetetlenül tartalmaz egy nem-triviális konvencionális elemet.



6. Ábra: *A azt az eseményt jelöli, amikor az O_1 megfigyelő egy fényjelet indít el az O_2 megfigyelő felé. Legyen B az az esemény, amikor a fényjel megérkezik O_2-höz, és azonnal egy másik jelet indít visszafelé O_1-hez, akihez ez a téridő C pontjában érkezik meg. Tradicionálisan az A és C esemény közötti felezőpontot szokás a B eseménnyel egyidejű eseménynek tekinteni*

18. Idézzük fel az egyidejűség standard definícióját. Jelölje A azt az eseményt, amikor az O_1 megfigyelő egy fényjelet indít el az O_2 megfigyelő felé. Legyen B az az esemény, amikor a fényjel megérkezik O_2-höz, és O_2 azonnal egy másik jelet indít visszafelé O_1-hez, akihez ez a C téridő pontban érkezik meg (6. ábra). A kérdés az, hogy az O_1 megfigyelő világvonalán melyik az az esemény, amelyik egyidejű B-vel. Eléggé kézenfekvő, hogy ez az esemény valahol az A és C között van a $t_3 = t_1 + \varepsilon\,(t_2 - t_1)$ időpontban, ahol $\varepsilon \in (0,1)$. Azt gondolhatnánk, hogy ε értékét a fény oda- és visszafelé történő terjedésének sebessége meghatározza. Kiderül azonban, hogy ez nincs így. A

$$\frac{\overrightarrow{c}}{\overleftarrow{c}} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

hányadosból ε nem határozható meg, mert ennek a hányadosnak az értéke nem kevésbé konvencionális, mint magának az ε-nak az értéke. Nem lehetséges ugya-

nis a fény terjedésének egyirányú sebességét megmérni az egyidejűség előzetes fogalma nélkül. Ez egy egyszerű logikai tény, ha direkt módon a fény egyirányú terjedési sebességét akarnánk megmérni, hiszen ehhez a fényjel elindulásának és megérkezésének idejét kellene összevetnünk. Számos olyan javaslat is volt az irodalomban, amely különböző indirekt módszerekre vonatkozott.[17] E javaslatok részletesebb analízise kimutatta,[18] hogy nincs olyan trükkös mérési eljárás, amellyel lehetséges lenne a fény egyirányú terjedési sebességét meghatározni anélkül, hogy az eljárás maga ne tételezné fel az egyidejűség előzetes definícióját.[19]

19. Megtehetjük természetesen, hogy az egyidejűséget nem a fent vázolt eljárással, hanem valamilyen más, fizikailag szintén plauzibilisnek tekinthető módszerrel értelmezzük. Túl azon, hogy választásunknak ez a szabadsága – mint Wesley Salmon helyesen mutat rá – már önmagában tükrözi az egyidejűség fogalmának konvenció-jellegét, kérdés, hogy más definíció mentes-e attól a konvencionális elemtől, melyet az ε értékének szabad megválasztása jelent.

Mint legfontosabb ilyen alternatívát, érdemes megvizsgálnunk, hogy mi a helyzet az egyidejűség órák lassú eltolása útján történő értelmezésével. Michael Friedman, polemizálva Reichenbach és Grünbaum tézisével, azt állítja, hogy ezzel a módszerrel problémamentesen szinkronizálhatunk távoli órákat, és hogy ez a szinkronizálás a standard $\varepsilon = \frac{1}{2}$ szinkronizációnak felel meg.[20]

Az elgondolás lényege a következő: Az egymástól távoli A és B megfigyelők óráit úgy szinkronizáljuk, hogy egy harmadik órát szinkronizálunk az A megfigyelő órájával, majd ezt átszállítjuk a B-hez , és hozzáállítjuk a B megfigyelő óráját (7. ábra). Órák mozgatása során az idődilatációs effektusok miatt a kezdetben szinkronizált órák szinkronizáltsága megszűnik. Ez az oka annak, hogy a távoli órák összehangolására általában nem ezt a módszert, hanem fényjelek oda-vissza küldését választjuk. Megmutatható azonban – hangzik az argumentum –, hogy

> *Egy óra mozgatásakor fellépő idődilatációs effektus tetszőlegesen kicsivé tehető, ha az óra mozgatásának sebessége tart nullához.*

Az alábbiakban megmutatjuk viszont, hogy ez nem igaz. Pontosabban, ezt az állítást nem tekinthetjük igaznak az egyidejűség előzetes definíciója nélkül.

20. Végezzük el a következő számítást. Egy órát lassan mozgassunk A megfigyelőtől B-ig. Számítsuk ki az óra állását amikor p pontba érkezik:

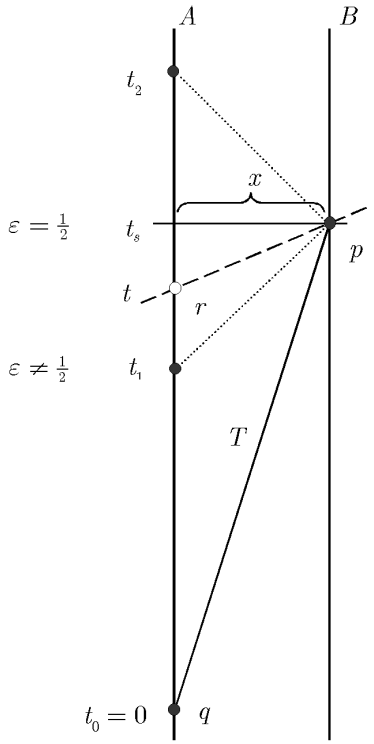
$$T = \sqrt{t_s^2 - \frac{x^2}{c^2}}$$

[17] Lásd Stedman (1972).

[18] Salmon (1977)

[19] Érdemes talán megjegyeznem, hogy a Michelson–Morley-kísérlet csupán a fény oda-vissza terjedésének átlagsebességére vonatkozó izotrópiát igazol.

[20] Friedman (1983), pp. 314-315.



7. Ábra: *A q pontban szinkronizált órák egyikét A-tól a B megfigyelőhöz visszük. p pontban az odaérkező óra T időt mutat. Ezzel "egy időben" A órája az r téridő pontban van, és t időt mutat. Ez utóbbi viszont függ attól, hogy az egyidejűséget hogyan definiáljuk*

Továbbá számítsuk ki, mennyit mutat az A megfigyelő órája akkor, amikor a p ponttal – adott ε mellett értelmezve – egyidejű r pontba érkezik:

$$t = t_1 + (t_2 - t_1)\varepsilon = t_s - \frac{x}{c} + \frac{2x}{c}\varepsilon = t_s + \frac{x}{c}(2\varepsilon - 1)$$

A két óra állásának különbsége

$$\begin{aligned}\Delta = |t - T| &= \left| t_s + \frac{x}{c}(2\varepsilon - 1) - \sqrt{t_s^2 - \frac{x^2}{c^2}} \right| \\ &= \left| t_s \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{c^2 t_s^2}} \right) + \frac{x}{c}(2\varepsilon - 1) \right| \\ &\approx \left| \frac{1}{2}\frac{x^2}{c^2 t_s} + \frac{x}{c}(2\varepsilon - 1) \right|\end{aligned}$$

Az, hogy az elmozdítás nagyon lassú, abban nyilvánul meg, hogy rögzített x érték mellett $t_s \to \infty$. Mint látjuk,

$$\lim_{t_s \to \infty} \Delta = \left| \frac{x}{c}(2\varepsilon - 1) \right|$$

ami csak akkor nulla, ha $\varepsilon = \frac{1}{2}$. *Vagyis általában nem igaz, hogy a lassan mozgatott óra az A megfigyelő órájával szinkronban marad!* Ha ezt állítjuk, implicite feltesszük, hogy az egyidejűség definíciójában $\varepsilon = \frac{1}{2}$-et választunk.

A tévedés nyilván onnan ered, hogy az egyidejűség előzetes értelmezése nélkül meg tudjuk állapítani, mennyi a két óra által mutatott idők különbsége, ha az egyiket A-ból B-be, majd vissza A-ba mozgatjuk. A fenti számoláshoz hasonló módon kiszámítva ugyanis, a következőt kapjuk:

$$\Delta_{ABA} = 2t_s - 2\sqrt{t_s^2 - \frac{x^2}{c^2}} \approx \frac{x^2}{c^2 t_s}$$

Ez az eredmény valóban független az egyidejűség értelmezésétől, vagyis nem függ ε értékétől, és valóban nullához tart, ha $t_s \to \infty$.

Egy szóval, az órák lassú mozgatásával sem lehetséges a szinkronizálást úgy elvégezni, hogy az ne foglalna magában egy az ε megválasztásával összefüggő konvencionális elemet.

21. Nincs tehát a természetnek olyan ténye, amellyel ellentmondásba kerülnénk, ha az egyidejűség definíciójában ε értékét minden inerciarendszerben $\frac{1}{2}$-től különbözőnek választanánk. Ezzel természetesen a fény (egyirányú) terjedési sebessége c-től különböző lenne, kettős értelemben is, különböző az egyes inerciarendszerekben, és különböző a különböző irányokban.

Érdemes megjegyeznünk, hogy a relativitáselmélet megfogalmazható anélkül is, hogy az ε értékét rögzítenénk. Mint Winnie (1970) megmutatta, meghagyhatjuk ε-t szabad „gauge"-paraméternek az elméletben. Minden olyan döntő kísérleti tény, amely a relativitáselméleten belül levezethető az $\varepsilon = \frac{1}{2}$ feltevés mellett, levezethető a relativitáselmélet többi posztulátumából, melyek nem tartalmaznak az egyidejűségre, illetve a fény egyirányú sebességére vonatkozó utalást.

22. Érdemes röviden kitérnünk arra, mit mondhatunk az egyidejűség ontológiai státuszáról a Lorentz-elmélet tükrében. A Lorentz-elmélet téridő felfogásában az idő nem vonatkoztatási-rendszer-függő. Tehát a Lorentz-féle felfogás szerint létezik valamilyen vonatkoztatási rendszertől független, univerzális idő. Az általános feltételezés szerint a fény az éterhez rögzített vonatkoztatási rendszerben minden irányban, oda és vissza, ugyanazzal a c sebességgel terjed, melyet a Maxwell-egyenletekből származtathatunk. Következésképpen, általános esetben, az éterhez képest mozgó vonatkoztatási rendszerben az órák szinkronizálásának einsteini módja alapvetően helytelen, hiszen a fény nem azonos relatív sebességgel terjed a két irányban, tehát egy lorentzi nézőpontból az

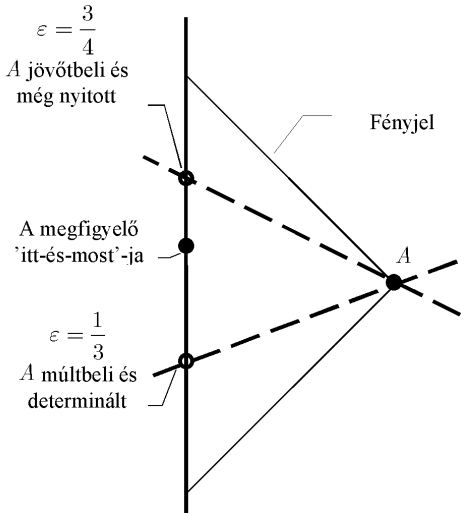
$\varepsilon = \frac{1}{2}$ nem hogy egyik lehetséges választás, hanem általában hibás! Ugyanakkor a két elmélet tökéletes harmóniában áll egymással. A fentiekben mondottak szerint, a relativitáselméletben ε értékét szabadon választhatjuk meg, tehát éppenséggel választhatnánk a Lorentz-elmélet szerinti helyes értéket is, attól függően, hogyan mozog a szóban forgó inerciarendszer az éterhez képest. Másfelől, a lorentzi nézőpontból, ε értékének ez a helytelen megválasztása „bocsánatos tévedésnek" számít, mert nincs olyan fizikai, mérhető effektus, amellyel kimutathatnánk, hogy inerciarendszerünk hogyan mozog az éterhez képest. Amint azt a **5.** pontban láthattuk, az éterhez képest tetszőlegesen mozgó inerciarendszerben a helytelenül definiált szinkronizálással nyert mérőszámokkal leírt fizikai törvények ugyanazok, mint az álló rendszerben.

23. Azt hihetnénk, hogy a Lorentz-elméletben az egyidejűség definíciója legalább az éterhez rögzített vonatkoztatási rendszerben egyértelmű, hiszen ott a fényterjedés sebességét a Maxwell-egyenletek határozzák meg. Vegyük észre, hogy ezt az argumentumot a relativitáselméletben is használhatnánk, azonban egyik elmélet keretében sem tartható. Valóban, ha sikerülne empirikusan megállapítanunk a Maxwell-egyenletekben szereplő, *kritikus sebesség*[21] egyirányú értékét, akkor ebből megtudhatnánk a fényterjedés egyirányú sebességét. A kritikus sebesség meghatározásához azonban arra lenne szükség, hogy kimérjük, mekkora erőt gyakorol a mágneses mező egy adott irányban adott sebességgel mozgó töltésre. Tehát előzetesen meg kellene határoznunk a töltés egyirányú sebességét egy adott inerciarendszerben, és ezt, mint fentebb kimutattuk, nem tehetjük meg az egyidejűség előzetes definiálása nélkül.

24. Ami minket az egyidejűség fogalmának fenti analíziséből elsősorban érdekel, az a következő. Egy pillanatra fogadjuk el, hogy a „determináltság", éppúgy, mint a „múlt", „jelen" és „jövő", olyan fogalmak, melyeket csak egy-egy megfigyelő vonatkoztatási rendszeréhez kötve értelmezhetünk. A fenti analízisből azonban az derül ki, hogy a helyzet ennél is rosszabb; Egyetlen vonatkoztatási rendszeren belül maradva is azt kell mondanunk, hogy ezek a fogalmak semmi olyat nem fejeznek ki, ami az objektív világra vonatkozna. A „determináltság", a „múlt", a „jelen" és a „jövő" mind *gauge*-függő fogalmak. Az A esemény determinált az $\varepsilon = \frac{1}{3}$ választás szerint (8. ábra), de nem determinált, ha történetesen az ε értékét $\frac{3}{4}$-nek választjuk.

25. Mindezt figyelembe véve, az **??**. Tételt erősebb formában ismételhetjük meg, úgy, hogy egyetlen vonatkoztatási rendszerben maradunk, és nem hivatkozunk a különböző megfigyelők vonatkoztatási rendszereire. Ennek az a jelentősége, hogy a tétel a Lorentz-elmélet keretei között is érvényes lesz.

[21] Továbbra is a Maxwell-egyenletekben szereplő c természeti állandóról van szó, azonban most úgy gondolunk rá, mint egy sebesség-dimenziójú állandóra, amely a mágneses jelenségekre vonatkozó formuláinkban szerepel.



8. Ábra: *Az A esemény determinált az $\varepsilon = \frac{1}{3}$ választás szerint, de nem determinált az $\varepsilon = \frac{3}{4}$ választás mellett*

1. Tétel *Legyen γ egy rögzített megfigyelő. Jelölje $q \sim_\varepsilon p$ azt a relációt, hogy q és p egyidejű a γ megfigyelő rendszerében egy adott ε mellett. Legyen A egy nem üres részhalmaza $\mathcal{M}$ téridőnek, melyre fennáll, hogy*

$$(\forall p,q)\,[(p \in A \;\&\; (\exists \varepsilon)\,[q \sim_\varepsilon p]) \Rightarrow q \in A] \tag{5}$$

Ekkor $A = \mathcal{M}$.

Bizonyítás Ha $p \in A$, akkor $C(p) \subseteq A$. Valóban, ha $r \in C(p)$, akkor p és r térszerűen szeparáltak. Következésképpen létezik olyan ε, hogy $r \sim_\varepsilon p$, amely maga után vonja, hogy $r \in A$. Hasonló megfontolásból, $C(C(p)) \subseteq A$. Másfelől azonban, a Minkowski-téridőben, $C(C(p)) = \mathcal{M}$, tehát $A = \mathcal{M}$. □

26. Nem a teljes relativitáselmélet és még csak nem is az inerciális vonatkoztatási rendszerek relatív mozgása az, amely maga után vonja az egyidejűség fogalmának konvencionális jellegét, hanem *az az egyszerű természeti tény, hogy van határsebesség.* Néhány kvantumjelenségtől eltekintve (EPR- és GHZ-kísérletek), melyekre még a későbbi fejezetekben visszatérünk, erős kísérleti alátámasztást nyert az a tény, hogy semmiféle fizikai hatás nem terjedhet a fénysebességnél nagyobb sebességgel.

Az egyidejűség konvenció-jellegéből a következő konklúziót vonhatjuk le: A „múlt- jelen- és jövőidejűség", valamint a „determináltság–indeterminálatlság" – amennyiben azt a múlt–jelen–jövő-típusú temporális tulajdonságokhoz kötjük –, konvencionális, gauge-függő fogalmak, vagyis *nincs a valóságban az eseményeknek olyan objektív tulajdonsága, amelyet ezek a fogalmak fejeznek ki.*

Hangsúlyoznunk kell, hogy lehetne ez az objektív tulajdonság akár egy vonatkoztatási rendszerhez kötött tulajdonság is. Egy test sebességének nagysága, például, egy olyan objektív tulajdonság, amelyet egy adott vonatkoztatási rendszerhez kötött módon értelmezünk. A múlt-, jelen- és jövőidejűség, valamint a determináltság azonban olyan fogalmak, mint például a test potenciális energiájának értéke. A potenciális energia tipikusan gauge-függő mennyiség, ezért nem fejez ki semmit sem. Nincs olyan fizikai, empirikus tény, amelyből ez a számérték következne.

Mi esszenciális, és mi nem, az idő fogalmában

27. A relativitáselmélettel, és általában a térrel és idővel kapcsolatos fenti megfontolásainkból arra a következtetésre jutottunk, hogy a térre és időre vonatkozó állításaink nagymértékben konvención alapulnak. Különösen meglepő ez a konklúzió, ha az időre vonatkoztatjuk, hiszen az idő fogalmához – melynek megértése régi problémája a filozófiának – mélyebb metafizikai megfontolások tapadnak.

Az időről folytatott diskurzusnak alapvetően két típusát szokás megkülönböztetni a filozófiai irodalomban. E két típus megkülönböztetése az idővel kapcsolatos hétköznapi nyelvhasználatban is megjelenő különbségen alapszik: Ha eseményeket időbeliségük alapján jellemezni akarunk, akkor olyan szavakat szoktunk használni, mint *előbb–később*, vagy *jövőbeli–jelenbeli–múltbeli*. Az események e két lehetséges temporális jellemzése között az az alapvető különbség, hogy az egyik „időtlen", míg a másik nem. Ha egy X esemény *előbbi*, mint Y, akkor ez a viszony minden időpillanatban változatlanul fennáll. Ezzel szemben a *jövő–jelen–múlt*-típusú temporalitás azt tételezi, hogy az eseményeknek van egy tulajdonsága, amely változik: jövőbeli események az idő múlásával jelenbelivé válnak, majd múltbeliek lesznek. Más szóval, hogy az idő „folyik", hogy az események „bekövetkeznek", hogy az idő múlása az események ontológiai státuszában valamiféle változást eredményez. A McTaggarttól származó[22] terminológiában, események időbeli sorozatát, az első esetben *B-sorozatnak*, a második esetben *A-sorozatnak* nevezzük. E tradicionálisan használt, és nem túl szerencsés terminológia, valójában az idő lényegének két különböző megközelítését tükrözi.

28. Érdemes röviden megismerkednünk azzal, ahogyan McTaggart eredetileg használta ezeket a fogalmakat, továbbá azzal az argumentummal, mellyel azt kívánta bebizonyítani, hogy az időnek nincs semmiféle realitása.

McTaggart érvelése két lépésből áll: az első lépésben azt mutatja meg, hogy az idő fogalma csak az A-sorozat segítségével ragadható meg. Vagyis, hogy A-sorozat nélkül nincs idő. Második lépésben pedig azt, hogy A-sorozat a valóságban nem létezik.

Abból – a senki által nem vitatott megállapításból indul ki, mely szerint az idő elválaszthatatlan a változás fogalmától. Nem lehetne időről beszélnünk

[22] McTaggart (1908); (1993)

akkor, ha semmi nem változna a világban. McTaggart szerint azonban csak egyetlen esetben lehet változásról beszélni, nevezetesen, ha a világ eseményeinek van valamilyen tulajdonsága, amely megváltozik:

> Nem születik változás abból, ha egy esemény megszűnik esemény lenni, abból sem, ha egyik eseményt egy másik váltja fel. Milyen más módja van tehát a változásnak? Ha egy esemény jellemzői megváltoznak, akkor bizonyosan van változás! De milyen jellemzői változhatnak meg egy eseménynek? Úgy gondolom, a jellemzőknek egyetlen ilyen osztálya van csupán. És ez az osztály a szóban forgó esemény azon meghatározottságaiból áll, melyeket az A-sorozat terminusaival ragadhatunk meg.
>
> Vegyünk bármilyen eseményt – Anna Királynő halálát, például – és vizsgáljuk meg, milyen változások történhetnek ennek az eseménynek a jellemzőiben. Az, hogy ez egy halál, hogy ez Stuart Anna halála, hogy ilyen és ilyen okai voltak, hogy ilyen és ilyen hatása volt – ezek a jellemzők mind olyanok, melyek sohasem változnak meg. ... Egyetlen vonatkozásban történik változás: Kezdetben egy olyan esemény volt, amely a távoli jövőben van, majd egyre közelebbi esemény lett. Egyszer csak jelenbelivé vált. Aztán múltbelivé, s mindörökké az is marad, minden pillanattal az egyre távolabbi múltba kerül.
>
> Ez az egyetlen jellemzője az eseménynek, amely megváltozhat. És ennélfogva, ha van változás, az csakis az A-sorozatban kereshető. Ha nincs A-sorozat, akkor változás sincs.[23]

29. Az argumentáció második részében McTaggart azt bizonyítja be, hogy A-sorozatok nincsenek. Mielőtt részleteiben megnéznénk ezt a bizonyítást, melynek helyességét egyébként sokan vitatják, érdemes megjegyeznünk, hogy a Putnam-tételben (**24.** pont) tulajdonképpen valami hasonlót bizonyítottunk. McTaggart állítása azonban erősebb: a Putnam-tételben ugyanis feltettük, hogy a múlt–jelen–jövő-típusú temporális tulajdonságok a 5 formula szerinti relációban állnak az egyidejűséggel. Itt semmiféle hasonló feltevés nincs.

McTaggart bizonyítása a következő:

> A múlt, a jelen és a jövő, inkompatibilis meghatározottságok. Minden eseményre igaz valamelyik, de csak az egyik. ...
>
> E tulajdonságok, tehát inkompatibilisek. Ugyanakkor, mindegyik esemény rendelkezik mindhárom tulajdonsággal. Ha egy M esemény jövőbeli, akkor jelenbeli és múltbeli lesz. Ha jelenbeli, akkor jövőbeli volt, és múltbeli lesz. Vagyis, minden eseményhez mindhárom karakterisztika hozzátartozik. Hogy egyeztethető ez össze azzal, hogy inkompatibilisek?

[23] Ibid. p. 26.

> Úgy tűnhet, ezt könnyen megmagyarázhatjuk. ... Az, hogy M jelenbeli, múltbeli lesz, jövőbeli volt, azt jelenti, hogy jelenbeli a jelen pillanatban, hogy múltbeli valamilyen jövőbeli pillanatban, és, hogy jövőbeli valamilyen múltbeli pillanatban. De minden pillanat, éppúgy, mint minden esemény, egyaránt múltbeli, jelenbeli és jövőbeli. Így tehát hasonló problémával találjuk magunkat szemben. Ha M jelenbeli, akkor nincs olyan múltbeli pillanat, amikor múltbeli. De a jövőbeli pillanatok, melyekben M múltbeli, éppannyira múltbeliek is, melyekben viszont M nem lehet múltbeli. ...
>
> Tehát megint ellentmondásra jutunk, hiszen azok a pillanatok, melyekben M az A-sorozatbeli valamelyik meghatározottsággal bír, egyben olyan pillanatok is, melyekben nem rendelkezhet a szóban forgó meghatározottsággal. Ha most úgy próbáljuk feloldani az ellentmondást, hogy ugyanazt mondjuk ezekről a pillanatokról, amit az előbb mondtunk magáról M-ről, hogy tudniillik egy bizonyos pillanat, például, jövőbeli, és jelenbeli valamint múltbeli lesz, akkor az így használt igeidőknek ugyanazt a jelentést tulajdonítjuk, mint az előbb. Vagyis, hogy a szóban forgó pillanat jövőbeli valamilyen jelenbeli pillanatban, és jelenbeli illetve múltbeli lesz valamilyen jövőbeli pillanatokban. Ezzel persze ugyanaz a probléma kezdődik előről, s ez folytatódik a végtelenségig.[24]

30. Nem véletlen, hogy a bizonyítást szó szerint idéztem. Meggyőződésem ugyanis, hogy azoknak van igazuk, akik szerint a fenti bizonyítás téves. Ezzel nem azt kívánom állítani, hogy A-sorozatok léteznek, hanem csupán azt, hogy létezésüket a fenti gondolatmenettel nem zárhatjuk ki. Ugyanis

1. Ha a *múlt*, a *jelen*, és a *jövő* kategóriákat hallgatólagosan mindig egy meghatározott időpillanatra, pontosabban a sorozat egy eseményére vonatkoztatva értelmezzük, akkor ez azt jelenti, hogy e kategóriáknak van egy „elhallgatott" indexe. Helyesen azt kellene írnunk, hogy $múlt_X$, $jelen_X$ és $jövő_X$, ahol X a sorozat egy tetszőleges eseménye. Az viszont, hogy egy M esemény, például, $múlt_X$-beli, M-nek egy olyan tulajdonsága, amely nem változik. Ebben az esetben tehát a sorozat nem is A-sorozat. Semmiféle ellentmondás nincs.

2. Tegyük most fel, hogy a sorozat tényleg A-sorozat, és a „múltbeli eseménynek lenni", „jelenbeli eseménynek lenni" és „jövőbeli eseménynek lenni" – így, indextelenül – az eseményeknek olyan tulajdonságai, amelyek időben változnak. Természetesen egyet érthetünk McTaggarttal, hogy kizárólag ezek a tulajdonságok lesznek az események olyan tulajdonságai, amelyek változnak. Nem abban az értelemben változnak, hogy relatívak lennének egy időpillanatra vonatkoztatva, mint az előző esetben, hanem, ahogyan bárminek bármilyen tulajdonsága időben változik, ha változik.

[24] McTaggart (1993), pp. 32-33.

> Az alma előbb *éretlen*, aztán *ehető*, majd végül *rothadt*. E három kategória az alma időben változó tulajdonságait tükrözi. Hogy van-e A-sorozat, azaz, hogy az eseményeknek van-e ilyen időben változó tulajdonsága, hogy a múlt-, jelen- és jövőbeliség köthető-e az ontológiai státuszuk változásának fázisaihoz, hogy a jövőbeli események „megérnek-e", mint az alma, és „bekövetkeznek-e", ezek mind súlyos filozófiai kérdések, és egyáltalán nem zárom ki, hogy a válasz ezekre a kérdésekre nemleges. De pusztán az a tény, hogy az alma az idő múlásával átmegy az *éretlenség* az *ehetőség* és a *rothadtság* fázisain, nem fordítható le arra a logikai formulára, mely szerint az alma *éretlen* & *ehető* & *rothadt*. Tehát semmiféle ilyen logikai ellentmondás az A-sorozat létezéséből nem vezethető le.

31. Meggyőződésem szerint van még egy pontja az érvelésnek, ahol nem kell McTaggarttal egyetértenünk. Nevezetesen, hogy nincsen változás A-sorozat nélkül. Igaz, hogy „ha egy esemény jellemzői megváltoznak, akkor bizonyosan van változás", de ebből nem következik, hogy a változás fogalmát kizárólag az események jellemzőinek megváltozása révén lehet filozófiailag megragadni.

A B-teoretikusok szerint az idő lényege, hogy a világ állapotai egy *megelőzi* relációval lineárisan rendezhetők, és a változás egyszerűen annyit jelent, hogy a dolgok állása e sorozat egyik, t-vel indexelt helyén különbözik a dolgok állásától egy másik, t' helyen. Mint Russell írja:

> A változás nem más, mint az igazság és hamisság tekintetében fennálló különbség két kijelentés között, melyek egyike egy bizonyos entitásra és egy T időpillanatra, a másik pedig ugyanarra az entitásra és egy T' időpillanatra vonatkozik, feltéve, hogy a két állítás csupán abban tér el, hogy az egyikben T, a másikban T' szerepel.[25]

Vagyis, továbbra is Russell egyik példájánál maradva, változás történik, ha »A piszkavas a T időpontban forró« állítás *igaz*, és »A piszkavas a T' időpontban forró« állítás *hamis*.

Russellel polemizálva McTaggart a következőt írja:

> Vegyünk egy másik sorozatot. A Greenwich-i meridián szélességi fokok egész sorozatát szeli át. És találhatunk két olyan S és S' pontot ebben a sorozatban, melyekre fennáll, hogy az »S pontban a Greenwich-i meridián az Egyesült Királyság területére esik« kijelentés igaz, míg az »S' pontban a Greenwich-i meridián az Egyesült Királyság területére esik« kijelentés hamis. De senkinek se jutna eszébe azt mondani, hogy ez valamiféle változást jelent. Akkor miért mondanánk ezt egy másik sorozat esetében?[26]

Tovább gondolva McTaggart példáját, tegyük fel, hogy van egy műszerünk, amely valamilyen τ mennyiség éppen aktuális értékét mutatja. Készítsünk a

[25] McTaggart (1993), p. 27.
[26] Ibid. p. 28.

világ állapotairól felvételeket úgy, hogy a kép sarkában ott látható a műszer mutatójának állása. Tegyük fel, hogy τ paraméter értékei lineárisan rendezhetők, és ennek megfelelően ezeket a „fényképeket" egy sorozatba rendezzük. Vagyis a világ állapotainak egy sorozatát – ha tetszik, események egy sorozatát – kaptuk. Tükröz-e e sorozat bármiféle változást a világban? McTaggart fenti példáját alapul véve, azt kell mondanunk, hogy általában nem. Kivéve, ha a szóban forgó műszer egy óra! De mi tesz egy mérőműszert órává? S mi teszi az általa mért τ paramétert idővé? Elég-e egyszerűen a hasunkra ütnünk, és azt mondanunk: a világról készült felvételeken ezt és ezt a részletet kiragadva, mostantól, azt az „óramutató állásának" nevezzük, és az így definiált paramétert *időnek,* a felvételek e szerinti rendezését pedig *időrendezésnek*, *idősorozatnak*? Más megfogalmazásban:

> Az A- és B-időskálák közötti elsőbbség, s ezáltal az idő alapvető természete, egyetlen kérdésre adott helyes válaszon múlik, nevezetesen, hogy mi tesz egy B-pillanatot jelenné?[27]

Mint láttuk a **14.** pontban, például, a relativitáselméletben egyszerűen úgy döntünk, hogy a deformált órákkal mért mennyiséget időnek tekintjük, és a világnak így is egy konzisztens leírásához jutunk. Ez persze még nem olyan radikális lépés, a deformált órák nem fogják átrendezni az idősorozatokat, hiszen a deformált óra által mért mennyiség szigorúan monoton növekvő függvénye a deformálatlan óra által mért időnek. Megengedhető-e radikálisabb módosítása az idő fogalmának? Jogos-e bármiféle szabad választás, filozófiai szempontból? S ha igen, hol van ennek a szabadságnak a határa?

Ezekre a kérdésekre különböző válaszokat szokás adni a filozófiában. A korábbi fejezetekben általam szorgalmazott konvencionalista felfogás szerint a rendezés alapjául szolgáló lehetséges paraméterek közül nincs egy kitüntetett, amelyik ténylegesen tükrözné a világ változásait, míg a többi nem. Az, hogy a hétköznapi gondolkodásunk szerint, valamint pszichikailag, ennek ellenkezőjéről vagyunk meggyőződve, csupán azzal magyarázható, hogy létezik az időrendezésnek egy „kitüntetett" módja, amely az evolúció során mélyen belénk ivódott. Nevezetesen az, amely a nappalok és éjjelek váltakozására, és más csillagászati/meteorológiai jelenségekre épül. Az a tény, hogy a világ fizikai leírásában is, *konvencionálisan*, ezt a természetesnek érzett „csillagászati időt" használjuk, csak fokozta azt a meggyőződésünket, hogy a világ változásainak ez az „igazi" leírása, s hogy az így kialakult időfogalmunk valamiféle metafizikai kitüntetettséget élvez.

Más filozófiai irányzatok szerint a kiválasztás nem csupán konvención alapszik, s nem is csupán biológiailag, vagy a priori (mint Kantnál) adott. Egyesek szerint a kauzalitás alapvetőbb fogalom, mint az idő, és az időrendezés módját a kauzális rendezés választja ki.[28] Vannak, akik szerint az időrendezésnek a termodinamikai entrópia fogalmára kell épülnie, míg pl. Swinburne szerint az idő struktúrája, és ezáltal a helyes időrendezés pusztán logikai szükségszerűségekből

[27] Mellor (1998), p. 11.
[28] Reichenbach (1956); Grünbaum (1971); Mellor (1981); (1993); (1995).

levezethető.[29] Az A-teoretikus Prior, és a B-teoretikus Belnap egyaránt úgy gondolják, hogy az idősorozatoknak tükrözniük kell a világ modális szerkezetét.[30]

32. Ezen a ponton meg kell említenünk egy másik nehézséget. Bárhogyan fogjuk is fel a változás fogalmának lényegét, ahhoz, hogy megmondjuk valamiről, hogy változik-e, és hogy milyen mértékben és milyen módon, előzetesen meg kell tudnunk mondani azt, milyen esetben lenne változatlan. Nevezhetnénk ezt a „filozófiai párhuzamos eltolás problémájának". Ahhoz, hogy két geometriai alakzat egymástól különbözzön, előzetesen definiálnunk kell az egybevágóság fogalmát, vagyis a kongruencia esetét. Ehhez az kell, hogy előzetesen definiáljuk, mit nevezünk *párhuzamos eltolásnak*. Ahhoz, hogy azt mondhassuk, a test mozgásállapota valamely kölcsönhatás következtében megváltozik, előzetesen definiálnunk kell, mi számít *inerciális mozgásnak*,[31] ahhoz, hogy egy fizikai mező két lokális konfigurációját a téridőn összehasonlítsuk, s hogy azt mondhassuk, hogy valamilyen más mezőkkel való kölcsönhatás következtében e konfiguráció megváltozott, előzetesen szükségünk van egy *konnekció*-fogalomra,[32] és így tovább. Vagyis a változás fogalma nem kevésbé konvencionális, mint a téré és az időé. (Poincaré koronglakói is változatlannak hiszik a méterrúdjaikat, amikor egyik helyről a másikra viszik őket!)

33. Már az is problematikus, pontosabban csupán konvenció kérdésének tűnik lenni, hogy mi az az entitás, amelynek a változásáról van szó. Mi változik meg a valóságban, ha az »én autóm« 1999-ben *Fiat*, és 2000-ben *Suzuki*? Ebben az esetben „tudjuk" a választ: semmi, »az én autóm« 1999-ben nem ugyanazt az entitást jelöli, mint »az én autóm« 2000-ben. De nem ugyanez-e a helyzet bármilyen más entitással? Vajon «én» ugyanaz vagyok-e 1999-ben, mint 2000-ben? Például nem pontosan ugyanazokból a sejtekből állok! Vajon a személyiségem ugyanaz-e 1999-ben, mint 2000-ben, kérdezhetnénk Derek Parfittel?[33] Egy társasház lakóközössége ugyanaz a lakóközösség-e, ha közben a lakók kicserélődtek? Egy foton ugyanaz a foton-e 10^{-9} másodperccel később?

Ezek mind nagyon is releváns metafizikai kérdések. Csupán azt kívántam érzékeltetni, hogy egyfelől igaza van McTaggartnak abban, hogy az idő és a változás fogalma szorosan összefonódik, és abban is, hogy a változás Russell-féle értelmezése nem kielégítő, ugyanakkor nem gondolom, hogy ezeket a filozófiai kérdéseket akár az angol igeidők elemzésével, akár a **29.** pontban bemutatott, logikai „Itt a piros! Hol a piros?" játékkal lehetséges volna megválaszolni.

---

[29] Swinburne (1968).

[30] Prior (1993); Belnap (1992).

[31] Ez történik az általános relativitáselméletben: a geodetikus mozgástól történő deviációhoz előbb szükség van a geodetikus fogalmára, melyet a Riemann-konnekcióval definiálunk. Lásd Hawking–Ellis (1973).

[32] Figyelemre méltó, hogy a részecskefizika ma standardnak számító *gauge*-elméletei pontosan ebből a megfontolásból születtek meg, lásd Yang-Mills (1954), és persze nem véletlen, hogy a matematikai leírásukra szolgáló fogalom éppen egy konnekció, hiszen a differenciálgeometriában a konnekció fogalma mögött ugyanez az intuitív gondolat húzódik meg.

[33] Parfit (1987).

Bibliográfia

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

Belnap, N. (1992): Branching space-time, *Synthese*, **92**, pp. 385-434.

Bennett, J. (1988): *Events and their Names*, Hackett Publishing Company, Indianapolis-Cambridge.

Dawkins, R. (1995): *Folyam az Édenkertből*, Kulturtrade Kiadó, Budapest.

Earman, J. (1986): *A Primer on Determinism*, D. Reidel, Dordrecht.

Eddington, A. (1935): *A természettudomány új útjai*, Franklin, Budapest.

Friedman, M. (1983): *Foundations of Space-Time Theories – Relativistic Physics and Philosophy of Science*, Princeton University Press, Princeton.

Gorelik, G. J. (1987): *Miért háromdimenziós a tér?*, Gondolat, Budapest.

Grünbaum, A. (1974): *Philosophical Problems of Space and Time*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. XII. (R. S. Cohen and M. W. Wartofsky, eds.) D. Reidel Publishing Co., Boston.

Hawking, S. W. és Ellis, G. F. R. (1973): *The Large Scale Structure of Space-Time*, Cambridge Univrsity Press, Cambridge.

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

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

Maxwell, N. (1985): Are probabilism and special relativity incompatible?, *Phil. of Science*, **52** p. 23.

McTaggart, J. M. E. (1908): The Unreality of Time, *Mind*, **17**, pp. 457-474.

McTaggart, J. M. E. (1993): The Unreality of Time, In *The Philosophy of Time* (Oxford Readings in Philosophy), R. Le Poidevin, M. MacBeath (eds.), Oxford University Press, Oxford. (Eredeti mű:*The Nature of Existence*, Chapter 33, Cambridge University Press, Cambridge 1927.)

Mellor, D. H. (1998): *Real Time II.*, Routledge, London.

Misner, C. W. és Wheeler, J. A. (1957): *Ann. Phys.* USA, **2** p. 525.

Misner, C. W., Thorne, K. S. and Wheeler, J. A. (1973): *Gravitation*, W. H. Freeman & Co., San Francisco.

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

Novobátzky, K. (1967): Bevezetés, In A. Einstein, *A speciális és általános relativitás elmélete*, III. kiadás, Gondolat, Budapest.

Nozick, R. (1970): Newcomb's Problem and Two Principles of Choice, *Essays on Honor of Carl G. Hempel*, N. Rescher et al. (edt.) Dordrecht.

Parfit, D. (1987): *Reasons and Persons*, Oxford University Press, Oxford.

Poicaré, H. (1952): *Science and Hypothesis*, Dover, Ney York. (Az eredeti francia kiadás 1902-ben jelent meg.)

Popper, K. R. (1988): *The Open Universe - An Argument for Indeterminism,* Hutchinson, London.

Prior, A. N. (1993): Change in Events and Change in Things, In *The Philosophy of Time* (Oxford Readings in Philosophy), R. Le Poidevin, M. MacBeath (eds.), Oxford University Press, Oxford. (Eredeti mű: In *Papers on Time and Tense*, Clarendon Press, Oxford.)

Putnam, H. (1967): Time and physical geometry, *The Journal of Philosophy*, 64 p. 240.

Reichenbach, H. (1951): *The Rise of Scientific Philosophy*, University of California Press, Los Angeles.

Reichenbach, H. (1956): *The Direction of Time*, University of California Press, Berkeley.

Rietdijk, C. W. (1966): A rigorous proof of determinism derived from the special theory of relativity, *Phil. of Science*, 33 p. 341.

Rietdijk, C. W. (1976): Special relativity and determinism, *Phil. of Science*, 43 p. 598.

Russel, B. (1976): Az ok fogalmáról, In *Miszticizmus és logika*, Magyar Helikon, Budapest.

Salmon, W. C. (1977): The Philosophical Significance of the One-Way Speed of Light, *Noûs*, **11**, pp. 253-292.

Stein, H. (1991): On relativity theory and openness of future , *Phil. of Science*, 58 p. 147.

Swinburne, R. (1968): *Space and Time*, Macmillan, London.

Szabó, L. E. (1982): Geometrodynamics in Multidimensional Unified Theory, *Gen. Rel. Grav.*, 14 p. 77.

Szabó, L. E. (1982): Geometrodynamics of Wormholes, *Circolo Matematico di Palermo* II. No. 2. pp. 267-273.

Wald, R. M. (1984): *General Relativity*, University of Chicago Press, Chicago and London.

Wang, H. (1995): Time in philosophy and physics: from Kant and Einstein to Gödel, *Synthese*, 102 p. 215-234.

Wheeler, J. A. (1962): *Geometrodynamics*, Academic Press, New York.

Yang, C. N. és Mills, R. L. (1954): *Phys. Rev.*, 96, p. 191.