Lassabban járnak-e az órák?

A relativitáselmélet óraparadoxonának elemzése a "realitás" fogalma szempontjából

Székely László

(A jelen internetes szöveg a következő korábbi írások átdolgozott változata:
1. Székely L.: "Lassabban járnak-e az órák? II. rész. in: Altrichter Ferenc és Szécsényi Tibor: *A filozófiai realizmus védhetősége*. Bp.: ELTE, BTK, 1994. 164-175. o.
2. L. Székely: "Do clocks really retard?" in: *Physical Interpretations of Relativity Theory*, *Late papers*, London: Brit. Soc. for Phil. Sci., 1996.)

A következőkben a „reális" fogalmát előtérbe állítva elemezzük a relativitáselmélet óraparadoxonát. Ennek során a „reális" és a „nem reális"- illetve a „látszat" - fogalma mellé bevezetünk egy köztes fogalmat: a „rendszerfüggően reális"-t. Filozófiai szempontból lehet vitatkozni azon, hogy jogos-e és értelmes-e egy ilyen fogalom bevezetése. A relativitáselmélet ortodox interpretációjának fogalomkörében azonban a pontosság kedvéért be kell vezetnünk e fogalmat. Ha filozófiai okok miatt elutasítjuk bevezetését, ebből az következik, hogy az ortodox (azaz az eredeti, einsteini) interpretációt magát is el kell utasítanunk. Mi azonban jelen elemzésünk során nem tesszük ezt, hanem az ortodox interpretáció elfogadásából indulunk ki.

Elemzésünknek nem célja, hogy az ortodox interpretáció ellen alkossunk érveket, vagy hogy valamely modern (a relativitáselmélet matematikai rendszerét és predikcióit maradéktalanul elismerő) Lorentz-féle interpretáció mellett érveljünk. Csupán az einsteini relativitáselmélet fogalmi struktúrájának néhány problémájára szeretnénk rávilágítani, annak föltétlen elismerése mellett, hogy az elmélet kiválóan használható a fizikai tapasztalat relációjában. Bár eközben rámutatunk arra, hogy e problémák egy része a Lorentz-féle interpretációban nem jelentkezik, azt nem állítjuk, hogy az utóbbiban ne lépnének föl olyan más problémák, amelyektől viszont az Einstein-féle interpretáció a mentes. Valójában egyik interpretáció sem igazán megnyugtató filozófiai szempontból, s úgy tűnik, ez nem az elméletek hibája: mintha maga a fizikai valóság húzódna vissza egyfajta sejtelmes módon előlünk, s ez volna az oka annak, hogy bár van egy sikeres relativisztikus matematikai apparátusunk, ahhoz nem sikerül igazán kielégítő fogalmi-ontológiai interpretációt rendelnünk. (Persze nem csupán a relativitáselmélet kapcsán keletkezik ez a benyomásunk: a kvantummechanikát - s általában véve az egész modern fizikát - is jellemzi e sajátosság.)

Elemzésünk során föltesszük, hogy ha a relativitás elméletével kapcsolatos valamennyi gondolatkísérletet fizikailag kiviteleznénk, akkor azokban minden úgy történne, amiképpen az elmélet alapján végzett számításokból adódik.

1. A "reális" problematikája a relativitás elméletében

Maga a relativitáselmélet nemcsak egy elmélet a sok közül, melyet mintegy előráncigálhatunk a tudományos realizmus problémakörét illusztráló esettanulmányok érdekében. Einstein speciális elméletét éppen az identifikálja a Lorentz-féle elmélettel szemben, hogy a relativisztikus effektusokat nem vezeti vissza reális fizikai változásokra. Mert amíg a Lorentz-féle elméletben arról van szó, hogy az éterhez képest mozgó rendszerekben az órák "valóban" lassabban járnak, a mérőrudak pedig a mozgásiránynak megfelelő dimenzióban "valóban" összehúzódnak, addig Einstein esetében csak "relatív", mért effektusokról beszélhetünk. Természetesen ezek a mérési effektusok is valóságosak abban az értelemben, hogy valóságos mérési eredmények valóságos eredményeiként adódnak, de ez már egyáltalában nem az az értelem, amely alapján a Lorentz-féle elmélet effektusai valóságosak. (A Lorentz-féle elméletben is valóságos mérési eljárások valóságos eredményeképpen lassabb járást mutató adatokat kapunk a hozzánk képest mozgó órára. Ám ennek ellenére lehetséges, hogy az az éterhez képest nyugszik, s ezért valójában

gyorsabban jár óránknál. Csakhogy ebben az interpretációban a mérési eredmény valóságos változások és valóságos, de az óra valódi járását számunkra eltorzító mérési effektusok együttes következménye, mely nem föltétlenül adja vissza az óra valóságos járását.)

Igen fontos körülmény, hogy az elmélet ortodox, "einsteiniánus" értelmezői nem önkényesen, mintegy filozófiai ízlésüket követve tekintik pusztán relatívnak a nevezetes relativisztikus effektusokat. Az elmélet fogalmi struktúrája a priori kizárja, hogy ezen effektusoknak abszolút, vagy egyetemes realitást tulajdonítsunk. Az egymáshoz képest egyenes vonalú, egyenletes mozgást végző rendszerek között föllépő relativisztikus effektusok ugyanis a speciális relativitás elméletében szimmetrikus effektusok, míg a Lorentz-féle elméletben az ezekkel ekvivalens effektusok csupán a tapasztalat szintjén megjelenő látszateffektusai közvetlenül nem érzékelhető, aszimmetrikus változásoknak. Azaz, ha a Lorentz-féle elméletben is szimmetriát tapasztalunk, ezek az elmélet értelmezése szerint fizikailag tapasztalhatatlan, de ugyanakkor valóságos aszimmetrikus változások következményei.

Így, ha az "A" rendszer és a "B" rendszer egymáshoz képest egyenletesen és egyenes vonalúan mozog, a Lorentz-féle elmélet szerint a kettő közül legalább az egyikben óralassulást és hosszúságkontrakciót eredményező valóságos fizikai változások lépnek föl — mégpedig az éterhez képest gyorsabban mozgó rendszerben nagyobb mértékben, mint az éterhez képest lassabban mozgóban. Igaz, az Einstein által definiált mérési eljárással az "A" rendszerben azt fogjuk mérni, hogy a "B" óra jár lassabban, a "B" rendszerben pedig azt, hogy az "A" óra a lassúbb, reálisan — fizikailag — a Lorentz-féle fölfogás szerint csupán az egyik óra (mondjuk a "B" óra) fog lassabban járni a másikhoz képest, s így ha ehhez viszonyítjuk a másik órát, azt kell mondanunk, hogy az a gyorsabb. Amikor pl. az "A" óra valóságosan mégegyszer olyan gyorsan jár mint a "B" óra, a Lorentz-féle elméletben a B óra valóságosan fele olyan gyorsan fog járni, mint az A óra. Annak ellenére is, hogy éppen ennek az ellenkezőjét fogjuk mérni, ha méréseinket a B óra rendszerében végezzük. S nem jutunk logikai ellentmondáshoz, ha ezt abszolút effektusnak tekintjük — mint ahogyan a Lorentz-féle elmélet valóban annak is tekinti.

A Lorentz-féle elmélettel szemben Einsteinnél a relativitás elve miatt nincsen kitüntetett rendszer, aminek következtében az órák szimmetrikus viszonya abszolút. Ezért, ha rendszerfüggetlen realitást tulajdonítanánk az óralassulásnak, azt kapnánk, hogy az "A" óra egyszerre lassabb is, meg gyorsabb is mint a "B" óra, hiszen az egyik rendszerből az egyik, a másik rendszerből a másik eredményt kapjuk. Ez azonban logikai ellenmondás volna, amit nem szüntethetünk meg úgy, hogy pl. a "B" óra lassabb járását valóságosnak tekintjük, az "A" óra lassabb voltát pedig ennek megfelelően pusztán mérési effektusok következményének deklaráljuk, miután így kitüntetnénk az A rendszert, s ellentmondásba kerülnénk az elmélet alapelvével. Csak annyit mondhatunk ezért, hogy **az A rendszerből a B órát mérjük lassabb járásúnak, a B rendszerből az A órát,** míg valójában egyik sem jár lassabban, s így az óralassulás relativisztikus effektusa nem reális: pusztán látszat-effektus.

Összegezve: **az ortodox interpretációban még ha akarnánk sem tekinthetnénk abszolút reálisnak az óralassulásokat, hiszen így ellentmondáshoz jutnánk.**

2. Realitás és látszat, rendszerfüggő és abszolút realitás

De vajon tényleg csupán látszat volna az ortodox interpretáció szerint az egyik rendszerből a hozzá képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző másik rendszerben mért óralassulás? Bizonyos értelemben igen. Ám definiálnunk kell ezt az értelmet! Ha ugyanis a "látszat" kifejezést pontosan olyan értelemben használjuk, mint a Lorentz-féle elmélet esetében, nem fogalmazunk pontosan, mert itt a „látszat” fogalma a föltételezett „valóságos” (azaz a vonatkoztatási rendszertől függetlenül, fizikailag végbemenő, megtörténő) ellentéte. A "látszat" a Lorentz-féle interpretációban e valóságos fényében válik látszattá: ennek fényében nyer értelmet "látszat" volta.

Vezessük be az utóbbi értelemben használt "valóságos"-ra az **abszolút reális** fogalmát, s bővítsük ki e fogalom jelentését a következőképpen: abszolút reális - **„a-reális”**- minden

olyan változás, mely valóságosan, fizikailag megy végbe, s nem egymáshoz képest mozgó rendszerek viszonylatában föllépő relativisztikus mérési effektusok eredménye. Bár a Lorentz-féle elméletben sem tudjuk eldönteni, hogy mennyiben „a-reális” pl. egy megfigyelt óralassulás, s mennyiben csupán „látszat” - azaz mennyiben csupán a rendszerek relatív mozgásállapotának és nem tényleges fizikai változásának következménye -, az elmélet alapföltevése szerint valóságos óralassulások vannak, s létezik egy kitüntetett rendszer, melyből mérve a mért óralassulások „a-reálisak”.

Vezessük be továbbá a mindenkor használt rendszertől függő, s ennyiben csak **relatívan reális**ra az "**r-reális**” fogalmát. Mivel a Lorentz-féle elméletben van egy abszolút, kitüntetett rendszer, az "„r-reális” effektusok valóságos (a-reális) óralassulások és a mérési eljárás következtében fellépő relativisztikus effektusok keverékei. A tiszta esetben, amikor az egymáshoz képest egyenes vonalúan és egyenletesen mozgó rendszerek egyike az abszolút rendszer, az ebből mért óralassulások teljesen „a-reálisak”, a másikból mért óralassulások teljességgel látszatok. (Persze nem tudjuk azt, melyik az abszolút rendszer, s így nem tudhatjuk meg soha, hogy mikor s mennyiben mérünk csupán látszólagos, s mikor és mennyiben „a reális” óralassulást.)

Fenti definíciónk értelmében, ha két óra egymáshoz képest nyugalomban van és azt mérjük, hogy azonos sebességgel járnak, járásuk sebessége mind a Lorentz-féle, mind az ortodox interpretációban abszolút reálisan lesz azonos. Lorentznél azért, mert az éterhez képest azonos lesz a mozgásállapotuk, s így egyformán járnak lassabban az abszolút nyugalomban lévő órákhoz képest. Einsteinnél azért, mert az órák nem mozognak egymáshoz képest, s így viszonylatukban nem lépnek föl a relativisztikus effektusok. Egymáshoz képest nyugvó s eltérő ütemmel járó órák esetében a lassabb óra szintén mindkét interpretáció szerint "a-reálisan" fog lassabban járni, hiszen az einsteini relativisztikus jelenségek itt sem lépnek föl. Ezért ilyen esetekben az einsteini fogalmi keretet használva is azt kell föltételeznünk, hogy az adott óra fizikailag, abszolút módon jár másként, lassabban mint a másik.

Einsteinnél azonban a jelzett szimmetria miatt nem tulajdoníthatunk a mérések során adódó óralassulásnak abszolút realitást, ha e mérések a mérő rendszerhez képest mozgó órákra vonatkoznak. Ugyanakkor minden egyes óra a saját rendszerében, a saját idejében mérve törvényszerűen azonos sebességgel jár. Mivel ez minden rendszerre egyetemesen igaz, indokolt, az "r-reális”-nak ezt a típusát egyetemesen reálisnak tekinteni: igaz ugyan, hogy általánosan tekintve rendszerfüggő effektus az órák járási sebessége, ám abban az értelemben mégiscsak rendszerfüggetlen, hogy a saját rendszerben a rendszertől függetlenül mindig ugyanúgy járnak az azonos típusú órák. Az így bevezetett reálist nevezzük egyetemesen vagy **univerzálisan reális**nak: "**u-reális**”-nak.

Ha két óra egymáshoz képest nyugalomban van, s a két óra a rendszer saját idejében azonos ütemben jár, s azonos időt mutat, akkor **abszolút reálisan** azonos a járásuk, s **abszolút reálisan** mutatnak azonos időt. Ám ha e két óra távol van egymástól, akkor a rendszerükhöz képest mozgó rendszerből mérve - a más egyidejűség relációk miatt - (bár továbbra is azonos sebességgel fognak járni) nem fognak már azonos időt mutatni. Együttállásuk ugyan "a-reális" lesz, de nem lesz egyúttal "u-reális". Ez azt mutatja, hogy ami abszolút reális, nem föltétlenül reális az egyetemes realitás értelmében is.

Mielőtt továbblépnénk, foglaljuk össze röviden a realitás most bevezetett típusait!

1.) „**A-reális**” minden olyan jelenség, mely nem az egymáshoz képest mozgó rendszerek között végzett mérési folyamat révén keletkező relativisztikus effektusok következménye. Ilyen a Lorentz-féle interpretációban a föltételezett, de kimutathatatlan abszolút rendszerhez képest mozgó órák lassabb járása. Ilyen az ortodox einsteiniánus elméletben az azonos rendszerben lévő, egymáshoz képest mozdulatlan órák járásának azonos üteme, vagy járásuk ütemének különbsége, vagy az a tény, hogy azonos időt mutatnak ("mutatóik" azonosan állnak).
2.) „**U-reális**” minden olyan jelenség, mely az összes lehetséges rendszerben azonos. Így u-reális az az állítás, hogy két fizikailag tökéletesen azonos típusú óra az órák a saját rendszerének idejében mérve azonos sebességgel jár. Viszont ha a két óra egymáshoz

képest nyugvó óra egymástól távol van, az a tény, hogy saját rendszerükben - s így abszolút reálisan - azonos időt mutatnak, már nem lesz egyben u-reális is.
3.) „**R-reális**” minden olyan effektus, amely valamely rendszerből való mérés függvényeként adódik, függetlenül attól, hogy relativisztikus effektusok föllépnek-e vagy sem. Mivel mindig valamely rendszerből mérünk, minden „a-reális” és „u-reális” jelenség egyben „r-reális” is, ám vannak csupán „r-reális” jelenségek is. Ilyen az ortodox interpretációban az az állítás, hogy a nyugalmi rendszerhez képest mozgó rendszerben a mozgó rendszer órái a nyugalmi rendszer óráival összehasonlítva lassabban járnak. Mivel az ortodox interpretációban nincsen kitüntetett rendszer, ezek az így mért óralassulások **mindig csak r-reálisak, azaz mindig csak relatív effektusok lehetnek**.

A relativitáselmélet einsteini fölfögásában csak az "A" rendszerben lesz igaz az, hogy a hozzá képest egyenletesen mozgó "B" rendszer órája egy adott konkrétan mértékben lassabban jár, mint az "A" rendszer órája. (Persze lehet még olyan rendszerket találni, melyekből mérve szintén a "B" óra lesz a lassabb, de ha ez a rendszer nem az "A" rendszerrel azonos, a lassabban járás mértékel el fog térni az "A" rendszerben mért mértéktől). Ezért kevésbé reális ez az esemény: csupán „r-reális”. A csupán „r-reális”-nak az "a-reális"-hoz és az „u-reális”-hoz képest való kevésbé reális voltára gondolva mondhatjuk azt, hogy **a "B" óra csak látszólagosan, "A"-ból mérve jár lassabban az "A" órához képest: lassabb járása nem valóságos, csak látszat.**

A relativitás elméletében adódó változások és különbségek akkor fizikailag valóságosnak, ha „a-reálisak”. A csak „r-reális” változás nem lehet fizikailag reális, hanem csupán a mérési eljárás során föllépő relatív változás és különbség, amely abból fakadnak, hogy egy adott rendszerből egy hozzá képest mozgó rendszer eseményeinek paramétereit mérjük. Fizikailag valóságosan egy óra ugyanis nem járhat egyszerre lassabban és ugyanakkor gyorsabban mint egy másik óra.

3. Az óraparadoxon a "fizikai realitás" szemszögéből

Ezen a ponton azonban megjelenik egy zavaró mozzanat: az eredetét tekintve a francia matematikus-fizikusnak, P. Langevinnek tulajdonított "óra-" vagy "ikerparadoxon."[1]

Mi történik akkor, ha két egymás mellett nyugvó óra közül az egyik órát egyenletes sebességgel mozgatni kezdjük, majd ezután visszahelyezzük a másik óra mellé? Fölületes megközelítésben a speciális relativitás elméletére jellemző — az előbbiekben tárgyalt — szimmetrikus viszonyokból az következne, hogy az "A" órának a mozgatott "B" óra visszahelyezése után egyszerre kellene sietne is, meg késnie is a "B" órához képest. Ez pedig most már kiküszöbölhetetlen logikai ellentmondáshoz vezetne, ugyanis a két óra nyugszik egymás mellett, s ezért viszonyuk a fentiekben bevezetett terminológia értelmében **"a-reális”**. Einstein azonban jogosan mutatott rá arra, hogy a jelzett értelemben itt tulajdonképpen nincs paradoxon: a gondolatkísérletben mozgatott órát a mozgásba hozás és az eredeti helyre való visszahelyezés érdekében gyorsítani, majd lassítani kellett, s e mozzanatokra már nem a speciális, hanem az általános relativitás elmélete érvényes. Az általános elmélet alapján pedig a gyorsuló és a lassuló szakaszokban megszűnik az órák szimmetriája, s ezzel megszűnik a föltételezett szimmetriából fakadó logikai ellenmondás is.[2] (Tulajdonképpen annak igazolásához, hogy a paradoxon e szinten látszat csupán, még az általános elméletre vonatkozó Einstein-féle hivatkozásra sincs szükségünk: elég csak az órák világvonalát ábrázolni a Minkowski-féle téridőben!)

Az óraparadoxonban leírt történet elején és végén tehát két egyformán abszolút és egyetemesen reális - „a-reális” és „u-reális” - állapot található. Az első állapotban a két óra szorosan egymás mellett van és mutatóik azonosan állnak, a második állapotban az utazásból visszatért óra mutatója késik, lemaradt a Földön maradt órához képest.
Láttuk, hogy az egymáshoz képest egyenes vonalú egyenletes sebességgel mozgó rendszerek szimmetriája miatt a relativitás elméletében nem mondhatjuk azt, hogy az

[1]Langevin, P., Scientia 10. (1911.) 31-54. o.
[2]V. ö.: Einstein, A., "Párbeszéd a relativitáselmélet elleni kifogásokkal kapcsolatosan." "in.: Válogatott tanulmányok. Bp.: Gondolat, 103-116. o.

óráknak a másik rendszerből észlelt lassabb járása abszolút reális volna, mert ez ellentmondáshoz vezetne. Einstein megmutatta, hogy az óraparadoxon a triviális szinten ennek ellenére nem paradoxon, hiszen ***itt nincs szimmetria: az egyik rendszerben tehetetlenségi erők lépnek föl, míg a másik, a Földön maradt óra rendszere tehetetlenségi rendszer.*** Vajon az így adódó aszimmetria alapján nem mondhatjuk-e azt, hogy valamely történet, amelyet e rendszerekből kapunk, abszolút reális, azaz az egyik történetben leírt órajárások abszolút reálisak" és ezek eredménye az utazásból visszatért óra abszolút reális késése?

Az igenlő válasznak már eleve, a priori logikai föltételei vannak. Ha a Földön maradt óra rendszerében (**„A rendszer"**) leírt történet más mint az utazó óra rendszerében (**„B rendszer"**) leírt történet, akkor az általános relativitás elmélete kizárja azt, hogy itt „a-reális" változásokról beszéljünk. Ugyanis a két különböző történet egyszerre csak „r-reális" lehet. Eltérő történetek esetén csupán az egyik lehetne a kettő közül „a-reális" (az eltérés miatt az „u-realitás teljesen ki van zárva). Csakhogy a két különböző történet közül csupán az egyiket nem tekinthetjük ilyennek, hiszen ezzel kitüntetnénk azt a rendszert, melyhez az adott történet tartozik.

Ezt figyelembe véve vizsgáljuk meg a két történetet, azzal a föltevéssel, hogy az utazó óra viszonylag lassan halad (az időlassulás képlete legyen ,mondjuk t`=t x 99999/100.000) s az utazó óra annyi ideig mozogjon, hogy lemaradása a forduláskor pontosan 1 óra legyen.

Ekkor a történet az A (a nyugvó) rendszerből a következő lesz:

Az utazó „B" óra az utazás során végig lassabban jár a Földön nyugvó „A" órához képest. A „B" óra a forduláskor ezért már 1 órát késik az „A" órához képest. Visszaérkezése során a „B" óra lemaradása további egy órával fog nőni, hiszen ekkor is lassabban jár mint az „A" óra, s így megérkezése után 2 órát fog késni.

A történet a B (a mozgó) rendszerből a következő lesz:

- Kezdetben a Földön maradt „A" óra fog lassabban járni mint a „B" óra és az „A" óra fog a fordulás előtt közel egy órával késni a „B" órához képest. Azaz a fordulásig a „B" óra gyorsabban fog járni, mint az „A" óra.
- A fordulás idején megváltozik az órák járásának egymáshoz való viszonya. A Földön nyugvó („B"-ből tekintve a Földdel együtt mozgó) „A" óra „meglódul" s sokkal gyorsabban fog járni a „B" óránál, mint amiképpen az járt eddig az „A" órához képest. Ennek eredményeképpen az „A" óra nem csupán lemaradását hozza be, hanem kis híján három órával előrébb fog járni a fordulás befejeződésekor, mint a „B" óra.
- A „B" órának a Földre való visszatérése („B"-ből tekintve a Föld és a Földdel mozgó „A"órának a „B" órához való visszatérése) közben ismét az „A" óra fog lassabban járni. Ennek során majdnem egy órát veszít előnyéből, s a Földre való visszaérkezése után ezért már csupán 2 órával fog előrébb járni, mint a „B" óra.

(A „B" óra idejében mérve mind az oda út, mind a visszaút időtartama valamivel rövidebb mint 1 óra, ami a hosszúságkontrakció következménye: a „B" rendszerben mérve a „B" óra valamivel rövidebb utat jár be, mint az „A" rendszerben mérve. A lassú óramozgás következtében azonban ez a különbség példánkban elhanyagolható.)

Könnyű belátni, hogy a fenti két történet akkor is hasonlóan eltérő lesz, ha a „B" órát gyorsabban mozgatjuk, s így azok mint „a-reális" vagy „u-reális" történetek, ekkor is egyszerűen kizárják egymást. Ha mindkettőnek egyforma realitást szeretnénk tulajdonítani, azt csak a relatív, rendszerfüggő reális értelemében tehetjük meg.

A relativitás elméletében végtelen sok ilyen, rendszerfüggően reális történetet adhatunk a fenti két óra mozgásáról. Valamennyi történet vége azonos lesz, ám a történetek mások és mások. Így nem lehetnek egyformán "a-reális"-ak és így fizikailag reálisak. Csupán relatív realitást tulajdoníthatunk e történeteknek.

Ha ismerjük a történetet valamely rendszerből, kiszámíthatjuk azt is, miképpen adódik ugyanezen történet egy tetszőleges másik rendszerből. Ám nem mondhatjuk azt, hogy onnan csak „úgy látszik", míg a mi történetünk az abszolút valóságos, mert ezzel saját rendszerünket kitüntetnénk. Hiába van tehát aszimmetria az órák között. Ugyan az aszimmetria miatt azonos végeredményt kapunk mindkét történetben - az utazó óra késését - s így ez abszolút reális állapot lesz, az ezt megelőző történetek egyikére sem mondhatjuk, hogy e történet szerint jártak volna valóságosan az órák. Csak annyit mondhatunk: az egyik rendszerből mérve ilyen volt járása, a másikból olyan.

4. Az óraparadoxon nem triviális megfogalmazása

Az óraparadoxon nem triviális megfogalmazása a következő: miképpen lehetséges az, hogy csupán relatív, rendszerfüggő — s ebben az értelemben fizikailag nem valóságos — effektusok eredményeképpen abszolút, fizikailag reális effektus lép föl?

H. Dingle az előbbiek alapján arra a következtetésre jut, hogy a speciális elmélet szerint a két órának a mozgatott óra visszahelyezése után is ugyanazt az időt kell mutatnia, mivel a nem-reális, relativisztikus óralassulás nem eredményezhet reális fizikai változást.[3] Bár Einstein érvelésében az általános elméletre hivatkozik, ez sem változtatja meg Dingle ellenvetésének racionalitását. Mert ugyan az általános elméletben a paradoxon a triviális szinten eltűnik, a mozgatott óra lemaradását megelőző effektusoknak — az eltérő történetek miatt — ebben az elméletben is csak relatív realitás tulajdonítható. Így bár Dingle a triviális szinthez kapcsolódva fogalmazza meg ellenérvét, ez az ellenérv az e szintet kikapcsoló einsteini érvelés ismeretében is jogos marad.
(Bár itt fogalmi elemzésről van szó, azaz nem érdekel bennünket a tényleges tapasztalat, megjegyezzük, hogy a tapasztalati oldal a Dingle-féle föltevéssel szemben a speciális és általános relativitás elméletéből adódó matematikai predikciót - azaz az órák és az egyéb fizikai folyamatok valóságos késését, illetve lemaradását - támasztja alá.[4])

Paradoxonunk tehát megmarad: a mozgatott óra mutatójának lemaradása a nyugalomban hagyott órához képest abszolút fizikai változásnak kell tekintenünk az ortodox, einsteiniánus interpretáció keretében annak ellenére is, hogy e változás előzményeként az általános relativitáselmélet fogalmi keretében sem tudunk megadni olyan abszolút reális fizikai történetet - az óra, a fizikai folyamat valódi lelassulását - mely megelőzné s eredményezné ezen abszolút effektust. Azaz az ortodox interpretáció megtudja adni ellentmondásosan az utazásból visszatért óra állapotát, de nem tud értelmes, koherens s igaz történetet nyújtani arról, hogy mi is történt az utazó órával (vagy a Földdel és a Földön maradt órával) az utazás időtartama alatt.. ***Így ha ezt az elméletet érvényesnek tekintjük, el kell fogadnunk azt, hogy a mozgatott óra a nyugalomban maradt órához képest a visszahelyezés után annak ellenére abszolút módon késni fog, hogy fizikailag nem járt lassabban, fizikai változás mozgatása alatt nem történt benne.***

A mindennapi szemlélet és a hagyományos fizika szerint egy óra csak akkor maradhat le egy másik órához képest, ha előtte volt egy t_2-t_1 időtartam, mely alatt a lemaradó óra lassabban járt, mint a másik óra. Ha viszont kitartunk az általános relativitás elve mellett, el kell fogadnunk azt, hogy az óra abszolút valóságos lemaradásához nincs szükség arra, hogy a lemaradó óra valóban lassabban járjon: elég, ha volt egy t_2-t_1 időtartam, amikor a másik órához képest mozgott.

Bizonyos értelemben persze a mozgás lesz az "oka" a lemaradásnak, ám ez nem lesz valódi ok abban az értelemben, hogy a mozgás hatására a természetes járáshoz képest az óra mutatói elállnának, vagy lassabban mozognának. Ilyen "reális" fizikai effektus itt nem

[3] Dingle, H., Nature 179. (1957.) 865-866. o.

[4] Dingle tehát a paradoxon föloldására olyan javaslatot nyújt, mely az eredeti elmélet predikcióit megváltoztatja, míg a kísérleti fizika eredményei viszont az eredeti predikciókat támasztják alá, s Dingle föloldási javaslatával összeegyeztethetetlenek. *A dolog érdekessége, hogy Dingle nem az elmélet átalakításával változtatta meg annak predikcióit, hanem azzal, hogy az elmélet egyik effektusát (az óra-lemaradást) nem-reálisnak min□sítette.*

történhet. Az "ok" itt csak annyiban "ok", hogy megelőzte a mutatók lemaradását, s ha nem előzte volna meg, akkor e lemaradás nem lépett volna föl.

Az, hogy a mozgatott óra lemaradásának nem tulajdoníthatunk valóságos okot, sérti a kauzalitás hagyományos koncepcióját, s így az általános relativitáselmélet, bár szigorúan determinista, nem tesz eleget az okság elvének. Ez az óraparadoxon egyik tanulsága, melyet a témával foglalkozó elemzések mindeddig nem ismertek föl kellő hangsúllyal.[5] Így Einsteinnek ehhez a problémához való viszonyulását sem rekonstruálhatjuk, hiszen nem volt módja találkozni vele. A kvantummechanika irányában megfogalmazott bírálat gondolatmenetét elmélete ellen fordítva most megkérdezhetnénk tőle: az előbbi összefüggések fényében vajon eléggé intelligibis-e a relativitáselmélet? Nem kellene-e megfigyelhetetlensége ellenére mégiscsak elismernünk egy kitüntetett rendszert? Nem esik-e a kvantummechanika ortodox interpretációjához hasonlóan a "szűklátókörű pozitivizmus" bűnébe az általános relativitáselmélet, amikor következetesen elzárkózik a kitüntetett rendszer fogalmától?

Ezekkel a megjegyzésekkel ugyanakkor nem akarunk a Lorentz-féle interpretáció mellett voksolni. Bár a Lorentz-féle interpretációnak megvan az az előnye, hogy keretében értelmes egyetlen igaz, valóságos történetről beszélni, mely megelőzte az utazó óra lemaradását, s amely szerint az utazó óra valamikor - igaz nem tudjuk mikor, hiszen lehet, hogy az igaz történet egy harmadik, ismeretlen rendszerből adódó történet - valóban lassabban járt mint a Földön maradt óra. Ám nincs garancia arra, hogy a világ logikus fölépítésű. S talán egy óra, amely kezdetben egy másik órával együtt jár, egyszer csak elmaradhat s késhet anélkül is, hogy lemaradásának nem csupán oka nincsen, hanem azt egy olyan történet sem előzi meg, mely nem-relatív módon számot adna a késés létrejöttéről.

Azaz mindennek nyomán - ahelyett, hogy a Lorentz-féle interpretáció felé fordulnánk - következtethetünk arra is, hogy a világ egyszerűen olyan misztikus-furcsa, hogy a visszatérő óra minden ok és valóságos fizikai előzmény nélkül - anélkül, hogy bármikor fizikailag-valóságosan lassabban járt volna - késik. Mégpedig úgy, hogy késésének mértéke egy szigorú matematikai formulát követ.

5. Az időtágulás és a hosszkontrakció aszimmetriája

Tegyük föl, hogy a „B" óra a Sirius csillagig utazott, s ott fordult meg, mégpedig oly sebességgel, amihez képest a Föld és a Sirius egymáshoz viszonyított mozgása elhanyagolható. A Sirius távolsága a Földhöz képest nyugvó rendszerben legyen X. A mozgó „B" rendszerben végzett mérések szerint e távolság összehúzódik és Y hosszúságú lesz, ahol Y kisebb X-nél, ugyanis „B"-hez képest a Föld-Sirius szakasz mozogni fog. Mondhatjuk-e azt, hogy a Föld-Sirius-szakasz valóban, fizikailag összehúzódott Y méret hosszúságra? Nem mondhatjuk, hiszen „A"-ból nézve e szakasz változatlan marad, s a "B"-től eltérően mozgó rendszerben ugyancsak Y-tól eltérő hosszat kapunk.
Amit mondhatunk az az, hogy „B"-ből mérve e szakasz Y hosszú. „A"-ból mérve X hosszú, s valamely tetszőleges „C" rendszerből mérve Z hosszú. Ha kimondanánk rá valamiféle abszolút hosszúságcsökkenést, ezzel kitüntetnénk azt a rendszert, melyben ezt a hosszúságot mérjük. Azaz nincs valóságos hosszúságkontrakció, az csak látszólagos.

Mivel az óralassulás hasonló természetű, mint a hossz krontrakció, azt kell mondanunk: nincs valóságos óralassulás, az csak a különböző rendszerekben végrehajtott mérések különbözőségének következménye. Csakhogy e látszólagos-relatív óralassulásnak mégis valóságos fizikai nyoma marad, mert a „B" óra állapota fizikailag megfoghatóan, rendszerfüggetlenül lesz más, mint az „A" óráé. Azaz az idő alapvetően másképpen viselkedik, mint a hosszúság, melynél a relativisztikus effektusoknak ilyen maradandó "nyoma" nem marad.

---

[5]Az óraparadoxonnal számtalan tanulmány foglalkozik, ezek többsége azonban megmarad a paradoxon triviális változatánál. A nem-triviális szint szempontjából S. J. Prokhovnik jelen tanulmány fejtegetéseit is inspiráló elemzését említhetjük meg: "The Logic of the Clock Paradox." in: Physical Interpretation of Relativity Theory. (Proccedings.) London: Brit. Soc. Phil. Sci., 1988.

6. A tehetetlenségi erők magukban nem okozhatják az óra valóságos lassulását

Bár a tehetetlenségi erőknek a „B” rendszerben történő föllépése adja a rendszerek aszimmetriáját, nem lehet ezen erőkre konzisztensen visszavezetni a „B” órának a visszatérése utáni késését. Ugyanis az utazás időtartamától és a megtett út hosszától függetlenül ugyanolyan jellegű és mértékű tehetetlenségi erők lépnek föl, ha az óra ugyanolyan sebességgel halad, s ugyanolyan módon fordul meg. Ennek ellenére a megtett út hosszától alapvetően függeni fog lemaradása. Ha tehát a forduláskor föllépő tehetetlenségi erők okoznák a „B” óra lemaradását, ugyanazon tehetetlenségi erők egyszer így, máskor úgy hatnának anélkül, hogy bármi más tényező közbejönne. Így egyszer mondjuk egy perc, máskor ezer év lemaradást okoznának. Ezt pedig csak akkor lehetne értelmesen föltenni, ha elfogadnánk, hogy ezen erők valamilyen módon emlékeznek arra, hogy mennyit s milyen gyorsan utazott az óra, s bár a fizikai vizsgálódás számára e visszaemlékezéstől függetlenül ugyanolyanként jelennek meg, mégis, e "tudás" függvényében valamilyen misztikus módon valóságos késést okoznak az órában.

Természetesen egy ilyen föltevés jellegéből következőleg már nem fizikai föltevés volna, s ezért fizikai magyarázatot nem adna az óra visszatérte utáni valóságos késésre.

7. Mondhatjuk-e, hogy a „B” órának a visszatérése utáni késése szintén csupán relatív, s a sok relatív történetnek az óra visszatértekor való egybeesése csupán esetleges?

A radikális — még Einsteinnél is ortodoxabb — relativista itt a következő ellenvetést teheti. A valódi, abszolút jellegű "a-reális” fogalmának bevezetésével megsértettük a relativitás elvét. Ugyanis a saját rendszerben megfigyelt változások is relatívak és rendszerfüggőek: az, hogy az „A” óra az „A” rendszerben a „B” órához képest gyorsabban jár, ugyanúgy csupán relatívan valóságos effektus, mint az, hogy a „B” óra az „A” rendszerből mérve lassabban jár mint az „A” óra. Ezért nincsen jogunk az „A” órának az „A” rendszerben, mint saját rendszerében megfigyelt viselkedését kitüntetnünk. A relativitáselmélet a relatív realitás elmélete, s egy fizikai esemény a saját rendszeréből megfigyelve ugyanúgy csupán relatív, csupán rendszerfüggő, mint más rendszerekből megfigyelve. Az óraparadoxon végén szereplő óralemaradás így csak relatív effektus, s csupán esetleges az, hogy az „A” óra felöl és a „B” óra felöl nézve ugyanazt az effektust tapasztaljuk, vagyis az, hogy itt az „A” óra vonatkozásában a relatív effektus egybeesik a „B” óra vonatkozásában relatív effektussal. Így, zárul az ellenvetés, nincs itt paradoxon: relatíve reális effektusok eredményeznek relatíve reális effektusokat.
Bár ez az ellenvetés elveti a fizikai realitás einsteini fogalmát, van benne racionalitás.

Azonban ez az érvelés mégis komoly logikai hibát tartalmaz. Amikor ugyanis az „A” és a „B” óra egymás mellett nyugszik, relációjuknak mindkét óra, s minden lehetséges rendszer szempontjából szükségképpen azonosnak kell lennie, mert ha nem így volna, vagy logikai ellentmondás jelenne meg elméletünkben, vagy pedig az egymás mellett nyugvó objektumokhoz is más s más rendszert kellene rendelnünk. **A relativitáselmélet fogalmi meghatározása szerint azonban a relativisztikus effektusok szempontjából két fizikailag különböző rendszer éppen relatív mozgásuk által különbözik.** A taglalt ellenvetés viszont azzal, hogy a kölcsönösen nyugvó órák viszonyát ugyanúgy relatívnak minősíti, mint a mozgó rendszerek órái közötti viszonyt, de facto megkülönbözteti az azonos rendszerben lévő „A” óra és a „B” óra rendszerét.

Az ellenérvben így a „relatív” szó köznapi és fizikai használata keveredik össze. A két óra persze egymáshoz képest (azaz csupán viszonylagosan, relatíve) van nyugalomban. Ám a relativitáselmélet fogalmi keretében tekintve ugyanazon relativisztikus rendszerhez tartoznak, s mivel rendszerük azonos, relációjukban nem lépnek föl a relativisztikus effektusok. Nemcsak úgy látjuk valamely rendszerből relatíve tekintve, hogy a két óra nyugszik egymáshoz képest. Egymáshoz képest való nyugalmuk minden relativisztikus effektustól mentesen áll fönn: ***egymáshoz képest*** abszolút nyugalomban vannak. (Ezen túl még egymáshoz képest vett nyugalmuk "u-reális” is, hiszen minden relativisztikus rendszerből tekintve egymáshoz képest nyugvó órák maradnak.) Bár nyugalmuk egymás

viszonylatában, s ebben az értelemben „relatíve” áll fönn, de ez az egymás viszonylatában fönnálló nyugalom nem relatív a relativitáselmélet értelmében vett, rendszerfüggő relativitás értelmében. Nyugalmuk abszolút abban az értelemben, hogy nyugalmuk nem az egymáshoz képest mozgó rendszerek viszonylatában föllépő relativisztikus effektusok következményeként jelenik meg, s ugyanakkor egyetemes is abban az értelemben, hogy a különböző hozzájuk képest mozgó rendszerekből mérve - azaz a relativisztikus effektusoktól zavartan is - egymáshoz képest nyugalomban lévő órákként fognak megjelenni.

8. Relativitás és kozmikus harmónia

A relativisztikus effektusok éterbázisú magyarázatával szemben az ortodox relativitáselmélet oldaláról kritikaként többek között arra szoktak hivatkozni, hogy ez az elmélet egy igen erős anyag- és rendszerfüggetlen törvényt posztulál: azt, hogy az éterhez képest mozogva minden rúd, minden test anyagától függetlenül azonos matematikai összefüggés szerint összehúzódik, s minden — egymástól még oly különböző — óra is azonos összefüggés szerint lassul le. A relativitáselméletnek ezzel szemben — hangzik az ellenvetés — nincsen szüksége ilyen világtörvény posztulálására, hiszen csupán relatív effektusokról beszél.
Hasonló megfontolások alapján érvel az eukleidészi geometriának mint fizikai geometriának a tarthatatlansága mellett ***Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*** című művében Hans Reichenbach. Reichenbach arra hivatkozik, hogy minden olyan elméletnek, mely a relativisztikus effektusok ismeretében is az eukleidészi geometriához ragaszkodik, az anyagi szerkezettől függetlenül ható, s lehatárolhatatlan kozmikus erőket kell föltételeznie, szemben az általános relativitás elméletével, melynek ilyen erők föltételezésére nincsen szüksége. Ezek a Reichenbach által említett erők szintén egyfajta kozmikus harmóniával kapcsolatosak: az eukleidészi térben anyag- és szerkezetfüggetlenül föllépő egyetemes, s pontos matematikai összefüggéseket követő deformációs összefüggés okaiként kell definiálnunk őket.[6]

Az óraparadoxon nem-triviális elemzése viszont azt mutatja, hogy az einsteini relativitás-elmélet is tartalmaz egy ilyen anyag- és szerkezetfüggetlen harmóniatörvényt: a paradoxon végén föllépő abszolút óralemaradás ugyanis anyag- és szerkezetfüggetlen. Így egy élő szervezet vagy egy mechanikus óra járása ugyanolyan mértékben fog elmaradni a nyugalomban maradt világ megfelelő óráihoz képest; s ugyanígy maradnak le a kémiai órák, az atomórák, vagy egy olyan óra, mely az elemi részecskék spontán elbomlásán alapul. Ezekre az oly különböző jelenségekre — s velük együtt minden elképzelhető biológiai, kémiai, vagy fizikai folyamatra — ugyanazon törvény, ugyanazon matematikai formula szerinti "abszolút reális" lemaradás következik Einstein elméletéből. A Lorentz- vagy Reichenbach-féle deformációs összefüggésekkel szemben pedig a helyzetet súlyosbítja az, hogy itt — mint láthattuk — kauzális előzményt, valódi kiváltó okot sem mutathatunk föl ezen egymáshoz harmonikusan illeszkedő lemaradási effektusokra.
A relativitáselmélet, azon túl, hogy abszolút és relatív lemaradási effektusokat fogalmaz meg predikcióként, implicit módon egy nem-instrumentális jellegű kozmikus harmóniatörvényt is kimond a világra: az óralemaradások anyagfüggetlen harmóniáját. Ebben a vonatkozásban tehát a Lorentz-féle elméletek, illetve a relativisztikus effektusokat az eukleidészi térben reprodukáló elméletek, valamint az einsteini elmélet között — az utóbbi mellett fölhozott érvekkel ellentétben — nincsen különbség.

[6]Reichenbach, H., Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre. Berlin: 1928.