

tük, és az egyik proton neutronná alakulhasson. Ehhez a csillag magas hőmérséklete és nagy sűrűsége szükséges. A neutron protonná alakulását a gyenge kölcsönhatás szabályozza, ami tényleg gyenge: $n = p + e^- + \nu$. (Minden olyan folyamat, amiben a ν neutrínó részt vesz, csak gyenge kölcsönhatás révén mehet végbe.) Ha a folyamat gyorsabban menne végbe, a Nap hidrogénkészlete sokkal hamarabb elfogyna, a csillagreaktor kimerülne, és a Földre nem jutna elég hosszú ideig energia ahhoz, hogy az élet kialakuljon.



Még sorolhatnánk példákat arra, hogy a részecskék tömegének és a kölcsönhatások erősségének pontos, behangolt értéke mennyire fontos az életre alkalmas Világegyetem kifejlődésére. (Például mi lenne, ha a neutron tömege kisebb lenne, mint a protoné? Mit mondhatnánk akkor az élet kialakulásáról? Tessék végiggondolni!) De talán elég példát tekintettünk át. Azonban az élet feltételei az egész Univerzumunkban adottak. Könnyen lehetséges, hogy vannak más csilla-

goknak is olyan bolygói, ahol valamilyen élet kialakult, hiszen hihetetlenül nagyszámú csillag van a Világegyetemben (csak a Tejútrendszerben legalább 200 milliárd), és ezeknek számos bolygója van.

A Világegyetemről azt állíthatjuk, hogy alkalmas az élet kialakulására, legalábbis egy helyen látunk erre példát. Lehet, hogy vannak más Világegyetemek (multiverzum), amelyek egy részében kialakulhat az élet, más részében nem? A fizika törvényeiről szeretnénk azt hinni, hogy azok mindenütt ugyanolyanok, de az állandók lehetnek mások. Van más csillag bolygóján, vagy más Univerzumban élet? Ki tudja?

Irodalom

1. P. Davies: *A megbundázott Világegyetem*. Akkord Kiadó, Budapest, 2008.
2. Németh Judit: Mi az a sötét energia? *Fizikai Szemle* 54/1 (2004) 1.
3. Németh Judit: A Világegyetem fejlődése. *Magyar Tudomány* 2003/10, 1248.
4. M. Rees: *Csak bat szám – Az Univerzumot alakító erők*. Vince Kiadó, Budapest, 2001.

JÁNOSSY LAJOS RELATIVITÁSELMÉLET-FELFOGÁSÁRÓL

Hraskó Péter

Pécsi Tudományegyetem, Elméleti Fizika tanszék

Ha fizikatanárok társaságában feltennénk azt a kérdést, hogy tulajdonképpen mi az idő, valószínűleg azzal utasítanak el, hogy az ilyen metafizikai problémákat hagyjuk inkább a filozófusokra. De ha valóban nem tudnak (és nem is akarnak) foglalkozni ezzel a kérdéssel, akkor hogyan merészelik felírni a táblára az

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

képletet? Mi az a t , amit itt négyzetre kell emelni?

Ha így tesszük fel a kérdést, egy fizikus szerintem már semmiképpen sem háríthatja el magától. Ez ugyanis nem metafizika, mert a választ a képlet *ideális körülmények között történő ellenőrzési módjának* leírása tartalmazza. Az ideális körülmények miatt természetesen csak gondolatkísérletről lehet szó, de ha ezt a gondolatkísérletet nem fogalmazzuk meg a kellő részletességgel, akkor nem tudhatjuk, milyen ideálhoz kell közelítenünk a reális kísérleteinket.

Minél pontosabban kívánjuk ellenőrizni az

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

képletet (vagy bármilyen hasonló jellegű $s = f(t)$ összefüggést), annál pontosabb órákra van szükségünk, annál sűrűbben kell őket elhelyezni a trajektória mentén (a kontrollálatlan késési idők kiküszöbölése érdekében), és annál pontosabban kell szinkronizálni őket egymással. Ennek alapján megállapíthatjuk, hogy az s

$= f(t)$ típusú képletekben szereplő t időt¹ *a vonatkoztatási rendszerünkben sűrűn szétbelyezett, helyesen szinkronizált, nyugvó ideális órák mutatnák, ha valóban ott volnának*. Ez a megfogalmazás fejezi ki, hogy mit is értünk a képleteinkben szereplő t -n. Az $s = f(t)$ képlet valóságos ellenőrzésénél arra kell törekednünk, hogy néhány elegendően pontos és többekévé jó szinkronizált óra segítségével minél jobban megközelítsük ezt az ideált.

Nem tudok róla, hogy a relativitáselmélet létrejötte előtt a fizikai t időnek ezt a fogalmát (definícióját) bárki írásba foglalta volna, de a „mulasztást” annak tudom be, hogy a természettudósok előtt az időnek ezek a tulajdonságai valószínűleg olyan természetesek voltak, mint a lélegzetvétel. Az explicit megfogalmazás csak akkor vált szükségessé, amikor Einstein rájött, hogy a helyes szinkronizálással, amely a fenti megfogalmazás fontos eleme, lehetnek problémák. Korábban nyilvánvalónak tekintették, hogy az órákat a szétbelyezésük előtt egy közös helyen kell egymással szinkronizálni. Ez az eljárás azon a hallgatóságos feltételezésen alapult, hogy ideális esetben az órák szétvitele közben szinkronizáltságuk nem romlik el. Egy ilyen feltételezést elvben tapasztalatilag is lehet ellenőrizni úgy, hogy a közös helyről az egyik órát elvisszük a számára kijelölt helyre, majd visszavisszük a közös kiindulópontba. Ha ezután még mindig szinkronizálva lesz a több-

¹ A relativitáselméletben ezt koordinátaidőnek hívjuk.

bi folyamatosan ott lévő órával, akkor ez a szinkronizálási eljárás korrekt.² A relativitáselmélet (későbbi) terminológiáját használva az eljárás lehetősége tehát azon múlik, hogy *a tapasztalat szerint* létezik-e ikerparadoxon vagy sem. Ez teljesen egyértelmű kritérium, mert nem igényli különböző helyen lévő órák előzetes szinkronizációját.

De mi van akkor, ha a tapasztalat azt mutatja, hogy ez az eljárás csak közelítően érvényes, mert akármi-lyen óvatosan mozgassuk is az órákat, a széthelyezés következtében a szinkronizáltságuk – esetleg csak nagyon kis mértékben – mégis mindig elromlik? Einstein arra jött rá, hogy ebben az esetben az órákat *a széthelyezésük után* fényjelekkel lehet szinkronizálni, feltéve, hogy a fénysebesség egyik inerciarendszerben sem függ a terjedési iránytól (izotrópia). Az éterhipotézis szerint ez nincs így, mert a fénysebesség csak az éterhez képest nyugvó inerciarendszerben izotróp. Azonban ezt a hipotézist is lehet kísérletileg ellenőrizni távoli órák előzetes szinkronizálása nélkül,³ és a kísérlet megcáfolhatja az éterhipotézist.

Mint látjuk, az a kérdés, hogy mit értünk az $s = f(t)$ képletben szereplő t időn egyáltalán nem metafizikai természetű, mert megválaszolása a tapasztalat alapján történhet. Jelenlegi ismereteink szerint csak a tárgyalt két lehetőség az, amit empirikusan ellenőrizni kell ahhoz, hogy a helyes választ megadhassuk. A szükséges pontosságú technikai lehetőségek hiánya azonban évtizedekig megakadályozta, hogy a szinkronizáltság közvetlen megfigyelésével meggyőzően választani lehessen közöttük. Következésményeik alapján azonban lehetett dönteni, mert az első szinkronizálási eljárás a newtoni fizikára, a második a relativitáselméletre vezet, és bőséges tapasztalati anyag bizonyította, hogy ez utóbbit kell helyesnek nyilvánítanunk. A hetvenes évek óta pedig a NASA jóvoltából már nagy-pontosságú kísérlet bizonyítja, hogy az ikerparadoxon valóban létező jelenség (*GP-A kísérlet*).

Jánossy Lajos nagyon határozottan fogalmazza meg álláspontját ezekről a kérdésekről a *Relativitáselmélet a fizikai valóság alapján* című könyvében (Akadémiai Kiadó, 1973) a 21–22. oldalon:

„20. A távoli órák szinkronizálásának szükségességéből származó nehézség a következő módon oldható meg. A P_A és P_B órákat kezdetben egymáshoz közel állítjuk fel, és ebben a helyzetükben szinkronizáljuk. Az így szinkronizált órákat óvatosan egymástól távoli, végleges helyükre, az A és a B pontok közelébe visszük. Ha az órákat megfelelő elővigyázatossággal mozgatjuk, remélhetjük, hogy a szinkronizáció nem romlik el, amíg végleges helyzetüket elérik, és így a 17. pontban leírt kísérleteket⁴ ezekkel az órákkal véghezvihetjük.”

Mint látható, Jánossy abból *indul ki*, hogy az órákat a széthelyezésük előtt egy közös helyen *kell* szinkronizálni, és bizonytalanságban hagy afelől, hogy ezen eljárás helyességét tapasztalatilag ellenőrizhetőnek tartja-e vagy sem. A *remélhetjük, hogy a szinkronizáció nem romlik el* feltételezés utalhatna az ellenőrizhetőségre, de ha így volna, akkor számolnia kellett volna azzal a lehetőséggel is, hogy az eljárás

rást a tapasztalat nem igazolja. Ezért gyakorlatilag bizonyosnak tekinthető, hogy csupán a kellő pontosságú *technikai megvalósítás* reményéről van szó.

A 218–226. pontokban azonban maga is arra a konklúzióra jut, hogy az ikerparadoxon létező jelenség, és az ember azt várná, hogy kertelés nélkül feltegye a kérdést, hogyan egyeztethető össze ez a következtetés a 20. pontban elfogadott szinkronizálási eljárással. Einstein radikális megoldása – mint tudjuk – az volt, hogy a szinkronizálást *nyugvó órákra* kell alapozni, és a relativitáselmélet kidolgozásával azt mutatta meg, hogy ez megtehető anélkül, hogy ellentmondásba kerülnénk a logikával vagy a megfigyelt jelenségekkel. Jánossy azonban kitér a nyílt konfrontáció elől. Csupán annyit tesz, hogy megmutatja, amikor a mozgási sebességgel nullához tartunk, az ikerparadoxon maga (az utazó és az otthon maradt testvér életkorkülönbsége) szintén nullához tart.⁵

Az ikerparadoxonnak ez a matematikai tulajdonsága azonban a 20. pontban javasolt szinkronizálást egyáltalán nem teszi egyértelművé. A szinkronizálás tényleges megvalósításához ugyanis az órákat nullától különböző sebességgel kell mozgatni, ezért az idődilatáció, amely az ikerparadoxon oka, még az ideális órák egyértelmű szinkronizálását is lehetetlenné teszi: *nem* „remélhetjük, hogy a szinkronizáció nem romlik el”.

A könyve címének a megválasztásával Jánossy azt a meggyőződését fejezte ki, hogy a relativitáselmélet Einstein-féle felfogásával ellentétben ő a „fizikai valóság alapján” áll. Valójában azonban a fizikai valóságot annak 19. századi felfogásával azonosította. A kiinduló kérdésünkre (mi az a t , amely az $s = 1/2gt^2$ képletben szerepel?) „metafizikus” választ adott, mert az a szinkronizálás, amelyhez ragaszkodott, még ideális órákkal sem valósítható meg.

² J. Harrison kronométereinek működését pontosan ezen elv alapján tesztelték. A kronométert 1761–62-ben elvitték Plymouthból Jamaikára, onnan vissza Plymouth-ba. A mesés 20 000 font jutalom elnyerésének az volt a feltétele, hogy az öt hónapig tartó kemény tengeri utazás alatt a kronométer pontatlansága nem lehet több, mint amennyit a földrajzi hosszúság fél fok pontossággal történő meghatározása megenged.

³ Lásd *Relativitáselmélet alapjai* című könyvem (Typotex, 2009) 2.2 szakaszát.

⁴ A teljesség kedvéért ezt a pontot is felidézünk:

„17. A fény terjedési sebességét *eluben* (a szerző kiemelése) a következő módon lehetne meghatározni. Kibocsátunk A pontból egy rövid fényjelet, és annak B pontba érkezését megfigyeljük. Legyen A és B pontok közötti távolság l , akkor

$$c = \frac{l}{t_2 - t_1},$$

ahol t_1 a fényjel kibocsátásának, t_2 pedig a fényjel érkezésének időpontja. Ilyen méréseket a gyakorlatban nem lehet egyszerű módon végrehajtani, hiszen ahhoz, hogy a t_1 és t_2 időértékeket pontosan meg tudjuk határozni, szükségünk van két, P_A és P_B órára, amelyek egyike az A pontban, míg a másik a B pontban van felállítva. Ezen órákat olyan pontossággal kell szinkronizálni, hogy a leolvasott kis időkülönbség, $t_2 - t_1$ pontosan megállapítható legyen. Az első megoldandó – és nem triviális – probléma tehát az órák szinkronizálása.” (20–21. old.)

⁵ Első pillanatban ez triviálisnak látszó következtetés, de nem az, mert ugyanakkor az utazás időtartama végtelenné válik (tehát $0 \times \infty$ -re emlékeztető határozatlanság jön létre).