

LUCKY LUKE – AZ EMBER, AKI GYORSABBAN LŐ, MINT AZ ÁRNYÉKA

Bokor Nándor
BME Fizika Tanszék

A relativitáselmélet igazán szórakoztató, de előfordul, hogy nem sikerül minden diákot meggyőznünk erről. Ilyenkor szoktak segíteni a relativisztikus paradoxonok, amelyek sarkos megfogalmazásukkal és látszólagos képtelenségükkel szinte mindig felkeltik az érdeklődést. Ráadásul olyan szempontból is felbecsülhetetlen a pedagógiai értékük, hogy szinte „kikényszerítik”, hogy alaposabban utánagondoljunk, és ezáltal jobban megértsünk egyes jelenségeket.

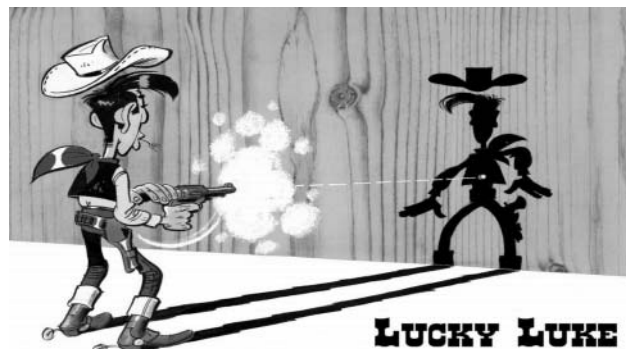
E cikk végén is szerepel egy nevezetes relativisztikus paradoxon, az írás egésze viszont inkább arra példa, hogy időnként a populáris kultúra valamely alkotását is meglepően sokoldalúan fel lehet használni a tanításban. Az alábbiakban tulajdonképpen egyetlen ártatlannak(?) hangzó mondatról és az ezt illusztráló rajzról lesz szó, mégis a relativitáselmélet olyan szerteágazó kulcsfogalmait, illetve jelenségeit lehet szemléletesen diszkutálni a segítségével, mint az *esemény*, a *tér-idő-diagram*, a *tér-idő-intervallum*, a *kauzalitás*, a *gyorsuló* és *inerciarendszerek*, az *ekvivalencia-elv*, a *gravitációs kék- vagy vöröseltolódás*, vagy a *tachyon-antitelefon paradoxon*.

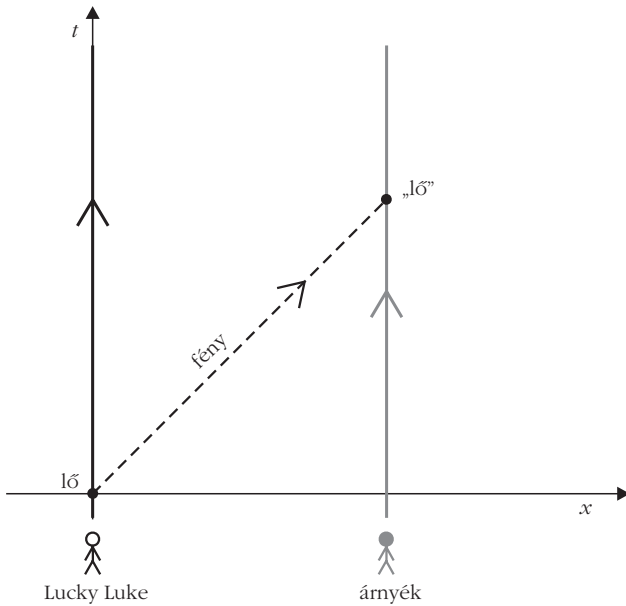
Lucky Luke a *Morris–Goscinnny* szerzőpáros zseniális képregénysorozatának emblematikus főhőse. Hídegvérű és nemeslelkű cowboy, akitől a Vadnyugat

minden gonosztevője retteg, hiszen, mint a sorozat mottója hirdeti: „Lucky Luke – az ember, aki gyorsabban lő, mint az árnyéka”. A képregényfüzetek hátsó borítójára rendszeresen felkerül a frappáns mondat, valamint az illusztrálására szolgáló rajz, amelyen Lucky Luke átlövi a saját árnyékát, még mielőtt az előkapná a pisztolyát (*1. ábra*).

Gondolkozzunk el a nevezetes mottó jelentésén, fizikai tartalmán. Az alábbiakban három lehetséges interpretációt sorolok fel, a segítségükkel tárgyalható relativisztikus fogalmakkal együtt. A cikkben mindvé-

1. ábra





2. ábra

gig feltételezem, hogy Lucky Luke legfeljebb rendkívüli képességekkel rendelkező ember, de a természet ismert törvényei rá is vonatkoznak.

1. interpretáció

esemény, téridő-diagram, fényszerű intervallum, kauzalitás

Egy pisztolylövés: *esemény*, a téridő jól definiált pontja, amelyet valamely koordináta-rendszerben 4 szám ír le (három térszerű és egy időszerű koordinátaérték). Gyors vagy lassú viszont csak valamilyen *folyamat* lehet, amelynek időbeli lefolyása van. Az első gondolatunk tehát, hogy a mondatnak szigorúan véve nincs is értelme, hiszen egyetlen esemény „gyorsaságáról” beszél.

Első interpretációnk szerint a szerzők talán arra gondoltak: Lucky Luke „nem mozog egy ütemben” az árnyékával, mindent *előbb* csinál, például pisztolyát is előbb süssi el, mint az árnyéka. Ez azonban nem rendkívüli teljesítmény, *mindenki* előbb csinál minden mozgulatót, mint az árnyéka, hiszen a fénynek időbe telik, amire az illetőtől az árnyékig ér. Tanulságos ezt téridő-diagramon ábrázolni (2. ábra). Az origón átmenő függőleges egyenes Lucky Luke világvonal, a tőle jobbra levő függőleges egyenes pedig az árnyékáé. A „Lucky Luke lő” és az „árnyék lő” eseménypárt fényszerű téridő-intervallum választja el, és *kauzalitási* (ok-okozat) viszony áll fenn közöttük: Lucky Luke kezének mozgása *okozza* az árnyék kezének mozgását, az információ hordozója pedig a fény. A kauzalitási kapcsolat azt is jelenti, hogy a két esemény sorrendje invariáns, bármilyen – szinkronizált órákkal felszerelkezett – inerciarendszerbeli megfigyelő Lucky Luke lövését méri korábbiinak, az árnyékét későbbinek.

Összefoglalva: ha az első interpretáció igaz, Lucky Luke teljesítményében nincs semmi rendkívüli.

2. interpretáció

gyorsuló vonatkoztatási rendszerek és inerciarendszerek, ekvivalencia-elv, gravitációs vöröseltolódás

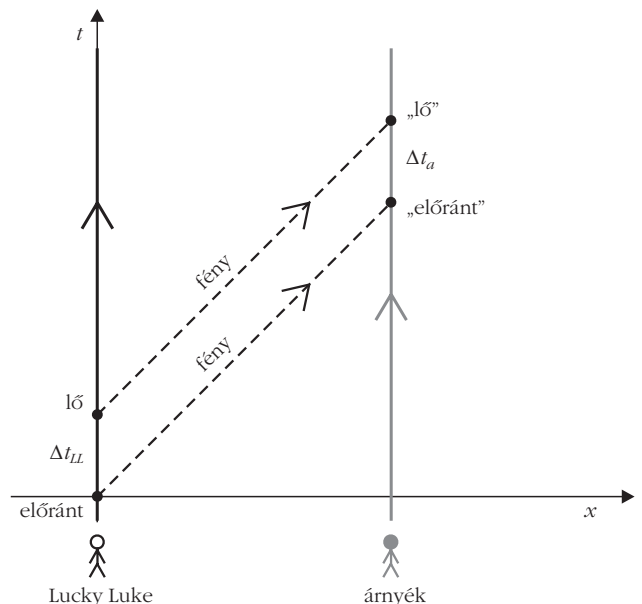
Lehetséges, hogy a szerzők egy *mozdulatsor* sebességére utaltak: Lucky Luke (1) előrántja a fegyvert, (2) tüzel. Második interpretációnk szerint tehát a mottó azt jelenti: *a két mozdulat között eltelt időtartam* (Lucky Luke hibátlan karórájának mérése szerint) kisebb, mint az árnyék megfelelő két mozdulata között eltelt időtartam (az árnyék helyén levő, tökéletesen azonos karóra mérése szerint). De ez nem így van, a két mért időtartam pontosan megegyezik, mint a 3. ábra mutatja: $\Delta t_{LL} = \Delta t_a$.

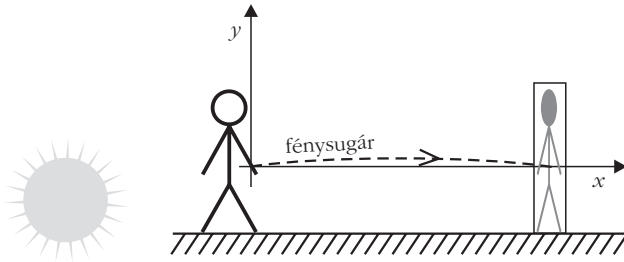
Illetve várjunk csak! Mindeddig feltételeztük, hogy Lucky Luke (és az árnyéka) *sík téridőben*, azon belül is *inerciarendszerben* nyugszik. Ez azonban nem igaz, a cowboy a Föld gravitációs terében áll. Nézzük először azt az esetet, amikor Lucky Luke keze és kezének árnyéka azonos magasságban van a földfelszín felett (1. ábra). Ez a helyzet szigorúan teljesül például napnyugta idején egy adott pillanatban. A Föld forgásából – ezzel a Nap relatív helyzetének változásából – adódóan az árnyék ugyan folyamatosan vándorol, de ezt az árnyékmozgást elhanyagoljuk az alatt a rövid időtartam alatt, amely a fegyver előrántása, illetve az elsütés információjának az árnyékhoz való megérkezése között eltelik. A Föld körüli téridő geometriájának leírásakor is eltekintünk a Föld forgásától. Ekkor a Lucky Luke, az árnyéka és a Föld középpontja által meghatározott síkban a téridő leírására a Schwarzschild-metrika használható, amelyet most a konkrét algebrai alak mellőzésével egyszerűen ilyen alakban írunk:

$$d\tau^2 = A(r) dt^2 - B(r) dr^2 - D(r) d\phi^2, \quad (1)$$

ahol dt , dr és $d\phi$ két infinitezimálisan közeli esemény Schwarzschild-koordinátákban megadott koordinátakülönbségei, $d\tau$ pedig a két esemény közötti időtar-

3. ábra





4. ábra

tam egy olyan órán, amely mindkét eseménynél jelen volt. Fontos hangsúlyozni, hogy az (1) egyenlet jobb oldalán szereplő T , r és φ szimbólumok csupán a téridő leírására szolgáló globális koordinátákat jelölnek, mérhető mennyiségeknek közvetlenül megfeleltetni őket legfeljebb véletlenül lehet (most véletlenül tényleg lehet, nagyjából olyan módon, amit a betűk sejtettek, de ennek részletei számunkra itt nem érdekesek). A bal oldalon levő τ viszont tényleges fizikai realitással bíró mennyiség.

További egyszerűsítésre ad lehetőséget, ha a Lucky Luke és az árnyéka közötti távolságon a Föld görbülete elhanyagolható, ami praktikus esetekben teljesül. Ekkor a gravitációs teret homogénnek tekinthetjük, és a gömbszimmetrikus (1) metrika helyett a téridő geometriáját az adott síkban általánosan

$$d\tau^2 = E(y) dT^2 - F(y) dx^2 - G(y) dy^2 \quad (2)$$

alakú egyenlettel írhatjuk le, ahol az x és y koordináták jelentése a 4. ábráról leolvasható. Fontos megfigyelni, hogy a (2) egyenletben az $E(y)$, $F(y)$ és $G(y)$ együtthatók (az úgynevezett metrikus tenzor (T, x, y) koordinátarendszerben felírt komponensei) nem függenek sem a T -, sem az x -koordinátától. Azt is lényeges megjegyezni, hogy – mint a 4. ábra mutatja – Lucky Luke-ot és árnyékát nyugvónak (állandó x - és y -koordinátákkal rendelkezőnek) feltételezzük, ráadásul y -koordinátájuk azonos:

$$y_{LL} = y_a. \quad (3)$$

Még ha a Föld gravitációs mezejét homogénnek (és ezzel a kérdéses téridőterületet síkknak) is tekinthetjük, a cowboy akkor sem inerciarendszerben nyugszik: a földfelszínhez képesti gyorsulása zérus, holott lábaiban érzi a talaj nyomóerejét. A tényre, hogy az (x, y) vonatkoztatási rendszer nem inerciarendszer, a 4. ábrán az utal, hogy a Lucky Luke kezét és annak árnyékát összekötő fény sugar enyhén görbültre van rajzolva. (Megjegyzés: e fény sugar görbültsége még nem jelenti a téridő görbületét [1]!)

Az 5. ábra a kérdéses eseménysort mutatja egy háromdimenziós (T, x, y) téridő-diagramon. Az ábrán Lucky Luke kezének és a kéz árnyékának világvonalát egy-egy függőleges egyenes mutatja, $x = 0$, illetve $x = l$ egyenlettel. (Mint fent említettem, az árnyék valójában lassan vándorol, de az 5. ábra időskáláján ez csak észrevehetően görbületet okoz a függőleges világvonal-

hoz képest.) Kulcsmomentum, hogy mivel az $E(y)$, $F(y)$ és $G(y)$ együtthatók nem függenek a T -koordinátától, az 5. ábra téridő-diagramján a két fény sugar világvonala párhuzamos. Ebből adódik, hogy

$$\Delta T_{LL} = \Delta T_a. \quad (4)$$

Ugyanakkor, mivel a kéz és a kéz árnyéka ugyanazzal az y -koordinátával rendelkezik, az „előkap – lő” eseménypárok közötti ΔT koordinátakülönbségek a kéz és az árnyék esetében ugyanazzal az $E(y)$ tényezővel „konvertálódnak” sajátidővé. Nézzük ezt kicsit formálisabban. A (2)-ből adódik, hogy Lucky Luke ennyire lő gyorsan (a saját órája szerint):

$$\Delta \tau_{LL} = \sqrt{E(y_{LL})} \Delta T_{LL}, \quad (5)$$

az árnyék pedig ennyire (az árnyék helyére képzelt óra mérése szerint):

$$\Delta \tau_a = \sqrt{E(y_a)} \Delta T_a. \quad (6)$$

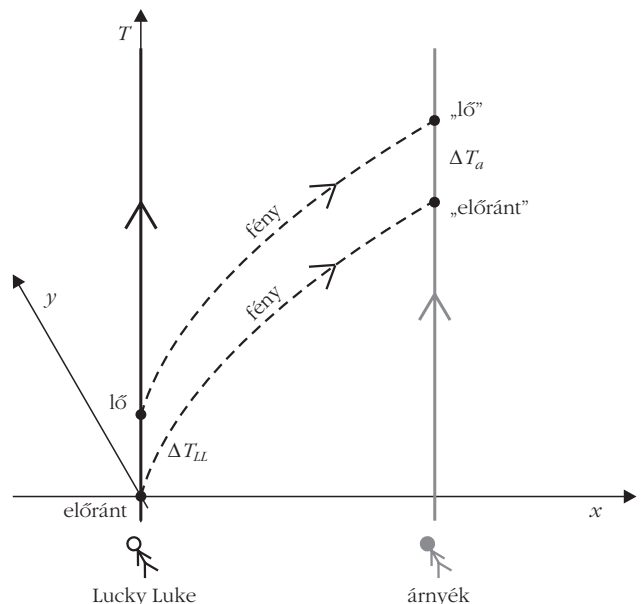
Az utóbbi két összefüggésből, (3) és (4) behelyettesítésével kapjuk, hogy

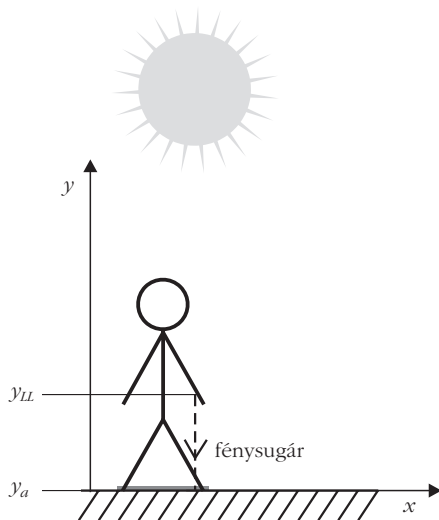
$$\Delta \tau_{LL} = \Delta \tau_a. \quad (7)$$

Ha tehát a 2. interpretáció igaz, akkor akármilyen ügyes is Lucky Luke, naplementekor pontosan olyan gyorsan lő, mint az árnyéka.

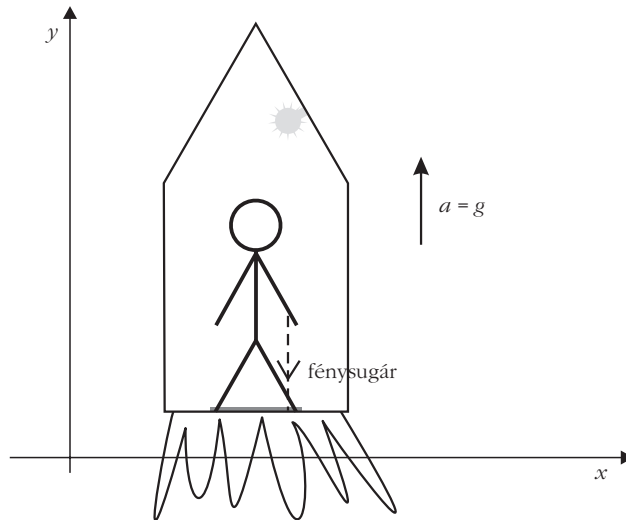
Nézzük most azt az esetet, amikor Lucky Luke éppen *délben* gyakorolja tudományát, és az algebrai egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a Nap pontosan a feje fölül süt. (Ez a helyzet például, ha a nyári napforduló napján átruccan Mexikóba, és épp a rákterítő szélességi körén tartózkodik.) Az alábbiakban látni fogjuk, hogy ez az eset a *gravitációs kékeltoadás* (illetve a fény sugarak irányának megfordításával

5. ábra





6. ábra



7. ábra

a *gravitációs vöröseltolódás* egyszerű és szemléletes tárgyalására ad lehetőséget. Ki fog derülni, hogy az árnyék ekkor *gyorsabban* mozog, mint Lucky Luke. A (3) helyett most az

$$x_{LL} = x_a \quad (8)$$

és

$$y_{LL} > y_a \quad (9)$$

összefüggések teljesülnek (6. ábra).

Az ekvivalencia-elv szerint a homogén gravitációs térben nyugvó Lucky Luke-ot ábrázoló 6. ábra fizikai viszonyai pontosan megegyeznek egy olyan űrhajóban uralkodó fizikai körülményekkel, amely minden égitesttől távol, inerciarendszerből nézve gyorsulva mozog a 7. ábra szerinti irányban. (Ekkor a Naptól érkező fényt az „űrhajós Lucky Luke” feje fölött levő

lámpa fénye helyettesíti.) A 7. ábra kényelmesen végiggondolható, *inerciarendszerbeli* nézőpontot mutat. Az ehhez tartozó (pedagógiai okból erősen torzított) tér-idő-diagram a 8. ábrán látható.

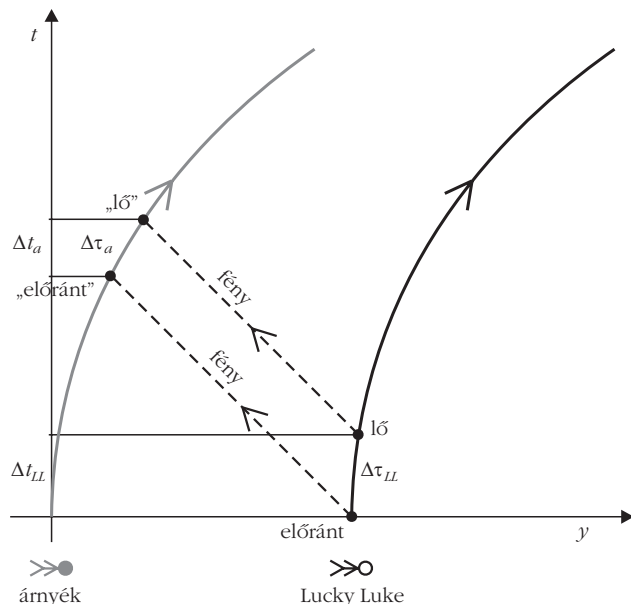
Az állandó gyorsulás miatt Lucky Luke kezének és a kéz árnyékának világvonala két párhuzamos hiperbola. A 8. ábra azon inerciarendszer nézőpontját mutatja, amelyben Lucky Luke a pisztoly előrántásának pillanatában éppen állt. Az ábráról leolvasható, hogy

$$\Delta\tau_{LL} \approx \Delta t_{LL} > \Delta t_a > \Delta\tau_a. \quad (10)$$

Az első közelítő egyenlőség azért írható fel, mert a pisztoly előrántása és elsütése között a cowboy kezének a világvonala még jó közelítéssel függőleges. A második reláció az ábra *t*-tengelyéről közvetlenül leolvasható, a harmadik pedig az idődilatació miatt teljesül. A (10) bal és jobb oldalát összevetve tehát adódik, hogy

$$\Delta\tau_{LL} > \Delta\tau_a. \quad (11)$$

8. ábra



A (11) összefüggés nem más, mint a *gravitációs kékel-tolódás* olyan fénysugarakra, amelyek „a gravitációs tér iránya felé” haladnak. (A 8. ábrához hasonló tér-idő-diagram felvázolásával, teljesen analóg módon illusztrálható a gravitációs *vöröseltolódás* jelensége olyan fénysugarakra, amelyek „a gravitációs térrel szemben” haladnak.)

Összefoglalva, ha a második interpretációt fogadjuk el, akkor a címben szereplő állítás általában nem igaz: Lucky Luke a déli órákban például kifejezetten lassabban lő, mint az árnyéka. (Természetesen az effektus nagyon kicsi. Két méter magas cowboy-t feltételezve $y_{LL} - y_a \approx 1$ méter, és a két időtartam arányára, itt nem részletezett számítás után

$$\frac{\Delta\tau_a}{\Delta\tau_{LL}} \approx 1 - \frac{g(y_{LL} - y_a)}{c^2} \approx 1 - 10^{-16}$$

adódik.)

3. interpretáció tachyon-antitelefón

Végül dönthetünk úgy is, hogy a „Lucky Luke gyorsabban lő, mint az árnyéka” kijelentést egyszerűen az 1. ábra szöveges megfogalmazásaként fogjuk fel. Ekkor tehát a feladatunk nem más, mint az ábra fizikai tartalmát értelmezni. A képen látható, hogy a cowboy árnyéka már át van lyukasztva, amikor az árnyék még elő sem rántotta a pisztolyt.

Rövid kitérő. Most nem kell törődnünk az olyan bonyodalmakkal, mint például, hogy az 1. ábra voltaképpen egy adott pillanatban exponált „fénykép”, következésképpen a különböző részein rögzített események nem egyidejűek, mert a jelenet egyes részei más-más távolságra voltak a „fényképezőgép lencséjétől”. Számunkra most csak az a fontos, hogy az árnyékon ott látszik a golyó ütötte lyuk, miközben az árnyék még nem nyúlt a fegyverhez. Mivel két olyan eseményt hasonlítunk össze, amelyek azonos objektumon történtek, sorrendjüket helyesen tükrözi a fényképen mutatott látvány: *előbb* ütött a golyó lyukat az árnyékon, és *azután* rántotta elő a fegyvert az árnyék, a „fénykép” pedig a két esemény közötti pillanatot rögzíti az árnyék helyén (ezt a pillanatot *-gal jelöltem a 9. ábra tér-idő-diagramján).

Nézzük, következik-e mindebből, hogy Lucky Luke mozgása természetfeletten gyors. A 9. ábra tér-idő-diagramjáról leolvasható, hogy bizony következik. (Mielőtt továbbmennénk, egy megjegyzés: az egyszerűség kedvéért a 2–3. ábrákhoz hasonlóan most *inerciarendszernek* tekintjük Lucky Luke nyugalmi vonatkoztatási rendszerét, tehát a gravitációtól eltekintünk. Az itt tárgyalt folyamatok – a pisztoly előrántása, elsütése, a pisztolygolyó repülése – nagyon gyorsan lezajlanak. Amikor Lucky Luke mozgásának ügyességét, vagy a pisztolygolyó repülésének gyorsaságát elemezzük, akkor pontosan ugyanazon okból tekinthetünk el a gravitációtól, amiért egy részecskegyorsítóban lezajló ütközési folyamatok elemzésekor sem kell a Föld gravitációs terét figyelembe venni.)

A 9. ábrából két érdekes következtetés olvasható le:

1. Aközött, hogy Lucky Luke előrántotta a pisztolyát és hogy elsütötte, kevesebb időnek kellett eltelnie, mint ami alatt a fény eljutott Lucky Luke-tól a tőle l távolságra levő árnyékig:

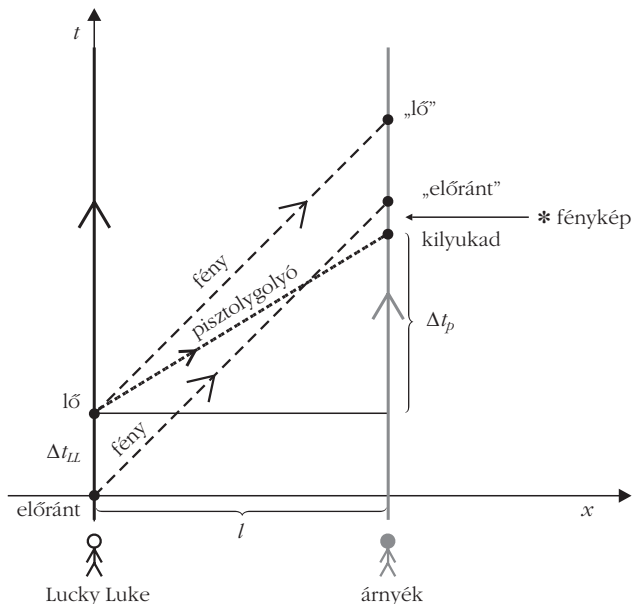
$$\Delta t_{LL} < \frac{l}{c}, \quad (12)$$

hiszen – mint az ábrából leolvasható – még a szigorúbb

$$\Delta t_{LL} + \Delta t_p < \frac{l}{c} \quad (13)$$

feltétel is teljesül, ahol Δt_p a pisztolygolyó repülési időtartama.

A (12)-ből láthatjuk, hogy Lucky Luke valóban ördögien bánik a fegyverrel. Ha $l = 3$ m (ez körülbelül megfelel az 1. ábrának), akkor a mozdulatsor elvégzéséhez saját óráján mérve kevesebb mint 10 ns-ra volt szüksége! Bűnöző legyen a talpán, aki ezt utánacsinálja.



9. ábra

2. A golyó *gyorsabban* ért oda az árnyékhoz, mint az a (fénysebességgel közlekedő) információ, hogy Lucky Luke előrántotta a pisztolyát. (Ez nem csak a 9. ábrából látszik, hanem a (13) összefüggésből, illetve magából az 1. ábrából is.) Lucky Luke fegyvere tehát talán még magánál a cowboy-nál is rendkívül jobb képességekkel rendelkezik: a belőle kilőtt lövedék *a fénynél gyorsabban repül*, azaz tachyon.

Itt már komoly ellentmondásokba ütközünk a természet eddig tapasztalt törvényeivel, tehát aki esetleg eddig el is hitte a képregény szerzőinek állítását, most már joggal gyanakodhat. A fénynél gyorsabban haladó részecskét detektálni még senkinek sem sikerült, és magának a detektálásnak a kérdése is komoly logikai aggályokat vet fel [2]). A tachyon létezése ennek ellenére önmagában még nem mond ellent kipróbált természeti törvényeinknek, feltéve, hogy teljesít két feltételt: (1) az ilyen részecskének állandóan a fénynél gyorsabban kell haladnia, nem lassulhat fénysebesség alá, illetve nem lehet, hogy fénysebesség alól gyorsítottuk a fölé; (2) az ilyen részecske nem használható kommunikációra, nem közvetíthet információt (a tachyon segítségével való kommunikáció ugyanis logikai paradoxonhoz vezet, lásd alább).

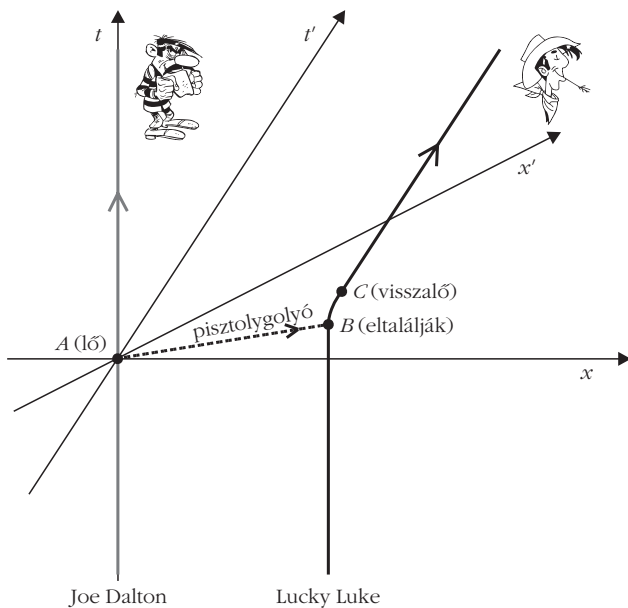
Lucky Luke állítólagos „tachyon-pisztolygolyójára” egyik fenti feltétel sem teljesül:

(1) A golyó mind a kilövés előtt, mind a becsapódás után nyugalomban van, tehát repülés közben oda-vissza *átlépi* a fénysebességet.

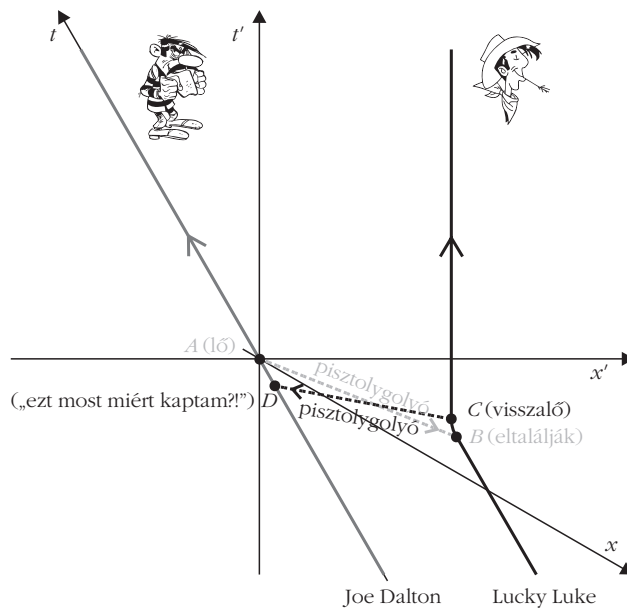
(2) A cowboy a lövéssel igenis kommunikál. Valakit pisztolygolyóval meglöni az *információközlés* markáns (és általában elítélendő) módja.

Következtetésünk tehát az, hogy az 1. ábra olyan tachyon-részecske létét feltételezi, amely a kipróbált természeti törvényeknek ellentmond.

Végül nézzük, miért kell egy tachyonnak a (2) feltételt teljesítenie, miért vezet logikai ellentmondáshoz – a kauzalitás megsértéséhez – egy olyan infor-



10. ábra



11. ábra

mációközlő rendszer, amely tachyonokat használ üzenetek továbbítására!

Mielőtt továbbmegyünk, emlékeztessük magunkat, hogy ha egy tachyon-forrás nyugszik egy inerciarendszerben, akkor milyen szabály szerint kell a belőle kilőtt tachyon világvonalát berajzolni az adott inerciarendszer tér-idő-diagramjába (9. ábra): jobbra haladó tachyont egy 0° és 45° közötti dőlésszögű (pozitív meredekségű) egyenes, balra haladó tachyont pedig egy 135° és 180° közötti dőlésszögű (negatív meredekségű) egyenes reprezentál.

Most pedig ismerkedjünk meg Joe Daltonnal, Lucky Luke kegyetlen ősellenségével. Kettejük képzeletbeli összecsapását mesélik el a 10. és 11. ábrák tér-idő-diagramjai. A történet elején a két szereplő egymástól adott távolságra áll az x -tengely mentén. Joe Daltonnak is van egy tachyon-pisztolya, és a $t = 0$ pillanatban használja is (A esemény). A tachyon-golyó sebesen repül Lucky Luke felé, és hamarosan el is találja (B esemény). A képregény-sorozat szellemiségével összhangban a cowboy nem sebesül meg, mondjuk mert a zsebében levő limonádés flaskába fúródik a golyó. A lökés ereje mindenesetre jobbra taszítja Lucky Luke-ot, aki rövid gyorsulási szakasz után állandó sebességgel repül jobbra a levegőben. Ezen állandó sebességű mozgásszakasz elején a cowboy saját tachyon-pisztolyával visszalő a legidősebb Dalton-fivérre (C esemény). Eddig a 10. ábrán követtük az eseményeket. Most – hogy a Lucky Luke fegyveréből kilőtt golyót biztosan a fenti elvünkkel konzisztensen tudjuk ábrázolni – térjünk át a jobbra repülő cowboy (x', t') nyugalmi inerciarendszerére. Ezt a nézőpontot a 11. ábra tér-idő-diagramja mutatja (ebbe halványan a korábbi A és B események is be vannak rajzolva, a Lorentz-transzformációnak megfelelő pontokba). A Joe Dalton agressziójára válaszul kilőtt pisztolygolyó a D eseményben találja el, és teszi működésképtelenné(!) a Dalton kezében levő tachyon-pisztolyt.

Ez igazi logikai ellentmondáshoz, a kauzalitás sérüléséhez vezet. A történetből láthattuk, hogy az A , B , C és D események (ilyen sorrendben) ok-okozat láncolatot alkotnak. Ugyanakkor a 11. ábrán látszik, hogy a D esemény *előbb* történik Joe Dalton világvonalán, mint az A esemény (időszerű világvonalra felfűzött két eseményről van szó, amelyek sorrendje tehát minden megfigyelő szerint $D \rightarrow A$). Nem csoda, hogy a Lucky Luke-tól érkező fenytést Dalton nem tudja értelmezni. Miért tették tönkre a fegyverét, amikor még eszébe sem jutott használni? Másfelől: a fegyverét éppen *azért* tették tönkre, mert használta (viszont nem használhatta, mert addigra tönkretették stb.)

E híres relativisztikus paradoxon ismert megfogalmazásában vadnyugati párbaj helyett az információátvitel tachyonokkal megvalósító telefon szerepel. A hagyományos tachyon-antitelefons paradoxon [2] elnevezés arra utal, hogy ilyen eszközzel üzeneteket lehetne küldeni a múltba, márpedig ez (mint a fenti példa illusztrálta) sértheti a kauzalitást. A paradoxon legkézenfekvőbb feloldásának az tűnik, ha elfogadjuk, hogy a természet nem engedi a tachyonokat (ha egyáltalán léteznek) információszállításra használni.

A Lucky Luke történetek állandó motívumai között más olyanok is vannak, amelyekhez hasonlóval a való életben nemigen találkozhatunk. Ilyen a főhős lova és igazi szellemi társa, a legalább emberi intelligenciával megáldott Jolly Jumper; vagy a börtön kivételesen buta, de gondolatait azért kerek mondatokban megfogalmazó kuttyója, Rantanplan. Az 1. ábra annyiban kivétel, hogy *logikai* képtelenséget tartalmaz. Mégis helyénvalónak látszik, hogy a rajongók fejében épp ez a rajz képviseli, szinte ikonikus módon, az egész képtelen, szellemes és szórakoztató képregényfolyamot.

Irodalom

1. Bokor N.: A gravitációról II., *Fiz. Szemle* 64/6 (2014), 198–203.
2. G. A. Benford, D. L. Book, W. A. Newcomb: The Tachyonic Antitelephone. *Phys. Rev. D.* 2/2 (1970), 263–265.