Norman Károly

Relativitáselmélet gyermekeknek

21. fejezet

Invariancia adóügyi vonatkoztatási rendszerben

Amint már összefoglaltam, a kocsmárosnak muszáj lesz valamit a relativitáselméletről előadnia a társának. Hogy miért, az nagyjából érthető: a társ szőrszálhasogató vállalkozó lehet, az ilyenek rosszul állják a tudományos hasbaakasztást; hogy miért nem elég a kocsmárost kiképezni az elemekre, miért kell bennünket is bemutatnia, az már halványabb; hogy miért olyan különösen fontosak épp az invariánsok, az meg egészen ködös. Idővel nyilván megtudjuk. Nem lóverseny a relativitáselmélet.

– Aludni is kell. Belátom, hogy még fog kelleni fél óra a relativitáselmélethez. De valaminek muszáj a végére járni. Intézzük el az invariánskérdést a záróráig, van rá még öt percünk...

– Hogyne, hogyne, mi az nekünk.

– Be kell mutassalak benneteket a társamnak. Nem rossz fiú, de azt nem mondanám, hogy nem veszélyes.

– Most!?

– Holnap egykor. Itt fogunk ebédelni, ezer elintéznivaló van, még nem működnek a dolgok olajozottan, délig rohangászni fogok a városban.

– Minekünk...

– A vendégeim vagytok.

– Miért kellünk mi a társadnak? Kíváncsi maffiózó?

– Rosszabb. Évekig dolgozott a NAV-nál.

– Hűha, és megint: hűha. El kell keserítselek, lesz ez kétszer öt perc is, és nem az invariánsok miatt. Te referáltál rólunk, nagyjából semmit sem tudva felőlünk, ami becsületes teljesítmény. És azt várod, hogy mindössze annyit tudjunk erről a lidérces társról meg az egész konstellációról, hogy be van vonva az adóhivatal? Megígérjük neked az öt percet az invariánsra, ha a most következő öt percben bevezetsz a relativisztikus adóügyi kocsmászatba.

– Délig rohangászol a városban, egykor bemutatsz, a fél óra a relativitáselméletre...

– Tizenkettő harminc és egy közt lenne.

– Aha. Na jó, csapjunk bele. Szóval mi az ábra az adóellenőrrel?

– Ha csak egy négytalálatosom van, eszembe sem jut. De kell a pénz. Az egyetlen ismerősöm volt, akiről tudtam, hogy van neki.

– Na igen, az adóügy meg a korrupció...

– Évekig vele álltam kapcsolatban adózásilag. Ha minden adóellenőr korrupt volna, ő akkor sem. A pénzét az apjától örökölte. Otthagyta a közszolgálatot, és az ölébe hullott pénzt szolidan akarja befektetni, adószakértelmi bónusszal, és olyannal, akiben megbízik; tudja, hogy nem vagyok széltoló. Meglátjátok, a szőrszálhasogató gyémántkés hozzá képest kőbalta. Úgy gondolja, hogy vannak követelmények meg határidők, alkatilag lesz... azaz nem veszi tekintetbe, hogy az élet néhol görögyösebb.

– Görbült tér...

– Ha fehér gyerekek potyognak az égből, akkor is meglegyen időre; mi az, hogy külső körülmények. No, hát jó ötletnek látszott holmi invariánsokra hivatkozni. Aztán a drága időmből invariánsokra kellett vadásznom, és holnap mindenekelőtt ezt kell kimagyarázni valahogy. Például ha nektek van, hozhatnátok egy kisebb ládával.

– Ó igen. Jó ebédhez szól az invariáns.

– Az adószabályok bonyolultak, az üzleti életben az adózási szakértelem kincs. Gates meg Soros ugyan messze többet jótékonykodnak és támogatnak, mint ami az adójukból leírható, de azért arrafelé közhaszonért ez általános, egyéb adózási ügyességekkel együtt.

– Amerikában nem emelkedtem odáig, hogy bármit leírhassak az adómból. Az itteni adózás színvonaláról és erkölcséről, és a vele kapcsolatos szabályozásról hadd ne mondjak semmit. Aki pedig a tudománnyal kokettál, azt egyes vidékeken talán meg is lincselnék; vagy megsújtja a kormányzat, mint errefelé az eddigi mindegyik. A közhaszonért fejlettéknél jutalom jár, itt jó esetben elmarad a büntetés.

– Egyszer valaki már említette neked, hogy a jó vezető paranoiás. A világ egyik legnagyobb mikroprocesszor-gyártójának magyar származású, alapító vezére szerint ez nélkülözhetetlen a túléléshez.

– Szokás hinni, hogy kis üzletbe nem csap a mennykő; pedig mindenki tudja, hogy pont csakis az olyanba. Egy adószakértő üzlettárs a sors ajándéka. A sörös ismeretterjesztés pedig közhaszon, ha nem jár is érte adókönnyítés. Az én lelkemhez közelebb áll egy kultúrkocsma, ha kisebb is a profit.

– Majd nem jár ide akárki sörözni, mégsem biztos, hogy kisebb lesz. Talán leszünk elegen.

– Rajtatok már eddig is messze több hasznom van, mint amennyibe a sörötök kerül. Szóval mi van az invariánsokkal?

– Vegyél mély levegőt, és mostantól kapaszkodj, aztán holnap is, félegytől egyig. Te meg lazítsd meg a nyakkendődet, és csak akkor szólalj meg, ha muszáj.

– Igyuk ki, hogy Elvira elpakolhasson.

– Az invariáns latin szó: „az, ami változatlan". Vannak mennyiségek, amelyek számértékben is változatlanok, amikor áttérünk az egyik vonatkoztatási rendszerről a másikra. Ilyen a hagyományos, newtoni fizikában a két pont közti távolság.

– Ez honnan a fenéből... Nem mintha itt kellene, de ti elvittétek a verébszaros edényalátétünket??

– Csak kölcsönbe, épp visszahoztuk, részben ezért is jöttünk.

– Na ne. Én meg hetek óta nem tudok aludni, a szerelmes edényalátétem nélkül. Főleg a verébszar.

– Nem verébszar, árcédula-ragacs. Jó, mert kijelöli ezt a kockát, az lesz a kezdőpont. Teszek bele egy söröskupakot. Ez egy egyszerű, derékszögű, kétdimenziós vonatkoztatási rendszer. Leolvashatók például ennek az evőpálcának a végpontjaihoz tartozó koordináták. Abból a Püthagorasz-tétellel kiszámítható a hossza. Ha eltolom, folyamatosan csúsztatom vagy elforgatom alatta az alátétet, megváltoznak ugyan a koordináták, de úgy, hogy a pálca hossza megmaradjon. Ezt úgy mondjuk, hogy a vektorok hosszához hasonló adatok invariánsak a vonatkoztatásirendszer-váltásra nézve. Mivel a relativitáselméletek alapproblémája éppen az, hogyan változnak a fizikai adatok a koordinátarendszer-váltáskor, nagyon hálásak az efféle mennyiségekért. Einstein szerint az alapvető összefüggéseknek ugyanolyanoknak kell maradniuk, nem függhetnek attól, honnan nézzük őket. Először is meggondolta, hogyan kell a mennyiségeket és jelenségeket kezelni, ha tehetetlenségi rendszerek között lépünk át. Ez az átlépés azt jelenti, hogy az egymáshoz képest legkülönbözőbb, egyenes vonalú, egyenletes sebességgel haladó vonatkoztatási rendszerekből kívánja a lényeget azonosnak látni. Ha a lényeges dolgok invariánsak, de a jellemző mennyiségeik az átlépéskor megváltoznak, akkor az a változás nem lehet akármilyen. Ezt úgy mondják, hogy a koordinátarendszer, vagyis a koordináták megváltozásakor hasonló módon együtt kell változniuk a mennyiségi adatoknak, miáltal a belőlük összeszerelt invariánsok változatlanok lehetnek. Ez az együttváltozás latinul a kovariancia. Akkor tudják kényelmesen kezelni az összefüggéseket, ha kovariáns mennyiségekkel építik fel.

– Aha. Akkor én nemcsak invariánst kerestem hiába, hanem kovariánst is. Nagyszerű. Dühös típus az adószakértő, nem tudom, mit szól, amikor kiderül, hogy én efféle invariánsokra vadásztam a városban.

– Elvisszük a balhét. Nem te verted át, hanem mi téged.

– Jól van, lépjünk, mielőtt nyugovóra térünk. Valami invariánsról már beszéltünk. Minden inerciarendszerben azonos nagyságú a fénysebesség, emiatt a hozzám képest mozgó óra késik, és a hozzám képest száguldó dolog hosszában rövidebbnek látszik. De ha ez így van, akkor ez az evőpálca is összemegy. Önmagában nem lehet invariáns a hossza. Ahogy a közönséges vektoroké sem, általában.

– Ez a Lorentz-kontrakció. Ez nem ment a fejembe, amíg te le nem terítetted, mint élpolitikus a szarvasbikát.

– Lorentz fizikus úgy gondolta, hogy megoldható az elektromágneses jelenségek leírásának egyforma volta minden tehetetlenségi rendszerben, ha ténylegesen, szerkezetileg késnek az órák a sebességtől, és ténylegesen összemennek a dolgok. Sokan úgy gondolták, ezt valami közeggel való kölcsönhatás okozza. Einstein ezt a fejéről a talpára állította: ezek a látszólagos ütem- és léptékváltozások a viszonylagos mozgásokból következnek, ez a késés kölcsönös: kívülről benézve a száguldó vonatba látszik, hogy késik a belső az óra, és belülről kinézve a peronra látszik, hogy késik a peron órája. Ha az ember nem képzeli, hogy az órák a világegyetemben titokzatosan, valami isteni pészmékerhez igazodva együtt járnak, máris meg van a dolog oldva.

– Azért akárhogy nem járhatnak...

– Holnapig töprengj a következő feladványon. Tudod, hogy hosszirányban összemenni látszik, ami hozzád képest száguld. De ha rajta ülsz, akkor a külső dolgok látszanak ugyanolyan arányban összemenni. Tegyük fel, ülsz a gyorsvonaton, elsuhan az állomás mellett, ha állna, épp olyan hosszú volna, ésszerű. Mentében: amikor az állomásról nézed, pompásan befér az állomásra. Amikor viszont rajta ülsz, a peron látszik rövidebbnek, nem fér el. Elfér, vagy nem fér el?

– Dehogy töprengek. Én elhiszem ezt a látszólagos, kölcsönös, viszonylagos zsugorodást, főleg, ha akkora, mint egy atom tízezred része. De legyen akár nagyobb; ez az „elfér vagy nem fér el” kérdés nem hangzik jól. Hogy kell érteni?

– Mi nem hangzik jól rajta? Elfér, ha van olyan, hogy a vonat rövidebb a peronnál, vagy legföljebb akkora, nem lóg ki egyik része sem. Vagy nem fér el, mert hosszabb nála, és egy része mindenképpen kilóg. És itt most az a gond, hogy a peronról fel lehet ugrani bármelyik részére, a vonatról viszont nem lehet bármelyik részéről leugrani a peronra.

– Mozgó járműre nem ugrálunk, mert ha nem törjük ki a nyakunkat, akkor is megbírságolnak. De miért ne lehetne a vonatról leugrani a peronra? Meg kell várni, amíg a vonatnak az a része épp a peron mellett megy el.

– Jó, de ugyanakkor... Vagyis...

– Melyik óra szerint ugyanakkor? Ha jól értettem, nem járnak együtt az órák kint és bent.

– Ez igaz, és az is, hogy akárhogy azért nem járhatnak. Legyen a peron eleje az, ahonnan a vonat eleje előbb megy ki, mint a vége; ez a sorrend sem belülről, sem kívülről nem fordulhat meg, mert ha igen, annak nem a relativitáselmélethez van köze, hanem az már műszaki kérdés, és komoly csörömpöléssel jár.

– Persze. Mármost álló vonatnál az elejek és a végek tudnak egyidőben találkozni bármelyik óra szerint; ha meg a vonat megy, akkor az állomásról nézve a végek előbb találkoznak, mint az elejek; a vonatról nézve meg az elejek előbb találkoznak, mint a végek. Hol itt a gond? Én nem tökölni, hanem aludni fogok éjszaka.

– Karma. Nekem a zsugorvonatok jutottak. Különben is, úgy könnyű, ha az ember harminc évvel fiatalabb.

– Most azon töprengek, melyiktek is mondta, hogy tegyek ki a kocsmában invariánsokat. Isten nem ver bottal. Holnap félegykor pedig, álrejtvények nélkül, tételesen felmondjátok nekem a relativitáselméletet. Fél órára még én is meg tudok jegyezni belőle annyit, amennyi elég egy adószakértőnek, hogy jó legyen az étvágya.

22. fejezet

Még hazamenőben

– Bóbiskolok a tóparton a horgászbotommal. Egy hal megrezgeti a vizet az úszónál, és ezt kicsit később észreveszem, megjön a hullám. Gyorsabban jön, ha a hal közeledőben, és lassabban, ha távolodóban találta el?

– Nem. A vízhullám sebességét a víz fizikája megszabja, a hal sebessége nem adódik hozzá.

– Akkor miért gondolná bárki is, hogy ha szalad egy lámpával és maga elé villant, akkor gyorsabban fog menni annak a fénye?

– Nem is megy. A fizika a fényjel sebességéhez sem adja hozzá a fényforrás sebességét.

– Akkor az Ió két oldalsó helyzetéről jövő fények közt sehogy sem lehet sebességkülönbség, akár lehetségesek egyébként különböző fénysebességek, akár nem. Akár valaminek a rezgése a fény, akár rezgés csak úgy, önmagában. Visszamagázódunk?

– Nincs is. És dehogy, hiszen ráadásul teljesen igazad van, ami rád nézve átmenetileg kényelmetlen.

– Már miért?

– Újra kell gondolnod a texasi cowboyos ötletedet. Közeledtében a pisztolygolyó nem azért üt mélyebb sebet, mert gyorsabban halad, hanem azért, mert ezáltal nagyobb az energiája. Ez fénylőszernél is így volna, csak nem a sebessége által: tud olyan gyorsan indulni, hogy az eredetileg, mondjuk, sárga fényrészecske gamma-sugárzás részecskéjeként érkezzen meg. De a sebessége annak is csak fénysebesség lesz. Az Ió közeledtében kékebb, mint távolodtában, ez a Doppler-hatás.

Vízhullámban mérhetek nagyobb sebességet, mint amit az álló vízben a fizika megszab: ahogy mondtuk is, például szembe kell motorcsónakozni vele. A vízhullám a vízhez van kötve. Ha a fényrezgés az éterhez volna kötve, hasonló lehetne a helyzet. Ez az, amire a Michelson-Morley kísérlet irányult: csakhogy nem találtak étert. Einstein ugyan nem lepődött meg ezen. Ezért a Michelson-Morley-kísérletet Ió-trükkel nem fogod tudni megspórolni, ez a kényelmetlenség. Ugyanaz a fényjel a fizikai leírás szerint bármely irányba ugyanazzal a sebességgel halad, bármelyik tehetetlenségi rendszerből nézve. Ha az egyiket állónak veszem is, és egy másik ahhoz képest egyenes vonalú, egyenletes mozgást végez, mind a kettőből ugyanannyinak látom; csak viszonylagos különbségeket tudok megállapítani, a fény haladási irányából és színéből.

– Jól van. A fény sajátos anyag, az a tulajdonsága, hogy nem lehet a sebességéhez hozzáadni.

– Nem. Most jön a lényeg. Nem azért nem mehet gyorsabban a fény, mert ő fény. Semminek a sebességéhez nem lehetne hozzáadni még, ha már elérte a fénysebességet. A kis sebességek összeadásának megszokott módja csak közelítés. Már a villamos is rövidebb haladtában kívülről nézve, csak ez a sebességtől függő korrekció elhanyagolható. A relativitáselmélet nem a fényről szól, hanem általában a helyekről, sebességekről, időtartamokról; a fény csak kéznél van, amikor nagy sebességekre van szükség. Vagy fordítva: a fény olyan gyors, hogy a korrekt összeadás nem kerülhető ki.

– Akkor ez az egész nem is kapcsolatos a fénnyel?

– A fény jó eszköz arra, hogy például az időméréshez a szinkront beállítsuk egy vonatkoztatási rendszerben. Vele indult a dolog, csak sokkal általánosabb lett az eredmény. Ha bármely más kölcsönhatást vennénk, mondta Einstein, a helyzet ugyanez volna. Ha a gravitációs hullámok kezelésére volna jó technikánk, akkor a gravitációs kölcsönhatással is lehetne szinkronizálni az órákat, és pont ugyanezt kapnánk.

– Mármint hogy gravitációs hullámok is vannak, tehetetlenségi rendszerben mérve hasonlóan viselkednek, mint a fény?

– Nagyjából. Einsteinnek ez természetes volt, de azért megrázó, amikor az ember ezt tényleg megtapasztalja. Nobel-díjat ért.

– Hogy lehetett ezt megtapasztalni?

– Ügyes eszközt készítettek a később díjazottak, amely alkalmas volt a gravitációshullám-észlelésre; mellesleg a múlt század eleji Michelson-megoldásra építve, ami annak idején szintén Nobel-díjat kapott. Sikerült irdatlan távoli jelenségek által keltett gravitációs hullámot észlelni. Köztük volt két neutroncsillag összeolvadása, amit csillagászati megfigyeléssel is azonosítottak. A kétféle észlelés egyidőben történt. Ha sebességkülönbség volna az elektromágneses és a gravitációs jelek terjedése között, ekkora távolságból nem érhettek volna ide egyidőben.

– Nem lehetséges, hogy az ember rákap a relativitáselméletre, és összecsomózódik az agyveleje, mint fülhallgatómadzag a mellényzsebben?

– De. Akadémikusokkal is előfordult.