Norman Károly

Relativitáselmélet gyermekeknek

23. fejezet

Identitásgondok elmúlása

– Szervusztok, bemutatom az üzlettársamat... A barátaimmal megbeszéltük, hogy délben találkozunk, igazán szerencse, hogy korábban érkezett, és mint ötletgazdákat önnek is bemutathatom őket. Talán az alapoknál kezdhetnénk...

– Talán onnan kezdhetnénk, hogy mi köze van egy közönséges polgárnak a relativitáselmélethez.

– Úgy érti, hogy amikor a tudományos hangzása okán divatos kocsmanév nyomán idetalálnak, és izgatott várakozásuk ellenére sem találnak itt egy átütő erejű, relativisztikus performance-ot, másodszor már nem jönnek, és bukja a zsozsót, akármilyen is a sör?

– Hé!

– Bocsánat, de ilyesmi köztünk is szóba került. Semmi köze a relativitáselmélethez. Azóta töprengek valamin, amióta a fejemet tágítod. Emlékszel, mivel kezdődött?

– Közölted, hogy nem hiszel a relativitáselméletben, miközben fogalmad sem volt róla, miben is nem hiszel.

– Kezdetben csak provokáltalak. Aztán elgondolkodtam: miért dühítenek fel az okostojások, a magas tudomány? Milyen, az ésszel felfoghatón túli érzelmek, indulatok, hitek és vágyak kapcsolódnak az emberben a dolgokhoz, sőt viselik a nevüket, veszik át a helyüket? Akiket például vérig sért egy elvont, tudományos műszó, miért teszik divattá akár, ha kocsma viseli? Én áthangolódtam valahogy.

– Szabályosan megtértél. Nehogy azt hidd, nem tűnt fel, amikor a kialakult barátságunk történetével csírájában fojtottad el kocsmáros barátunk identitásproblémáit.

– A relativitáselméletről kellene...

– Miféle identitásproblémák? Kolléga úr e műsorral arra utal, hogy a relativitáselmélet kapcsán még benne is érzelmek dúltak, amivel nyilván arra akar utalni, hogy velem sem mint észlénnyel állnak szemben.

– Ilyesmi. A terítékre került tudományos kérdéshez ezeknek az érzéseknek semmi közük, és nem is volna lehetséges őket áthangolni

holmi tudományos érveléssel, ismeretterjesztéssel, meggyőzéssel. Ha teszem valaki a csillagjóslásban, az ufókban vagy a gravitációs anomáliákban hisz, arról lepereg a csillagászat, a katonai légierő-fejlesztés vagy a geofizika. Sőt, az emberek nem néha, hanem a legtöbbször az okosságnak ellenállva, a hülyeségre hajlanak. Én ugyan nem volnék ilyen, mégis jobban izgatna egy természetfeletti, mint a földhözragadt; az alternatív, mint a bevett. Helyből ellenzék ugyanaz az ember, aki pedig négy lábbal áll a földön, és nem lehetne eladni az első sarkon. Miért?

– Ez olyan kérdés, amihez egyikünk sem ért, de borzasztóan izgalmas. A tömeg, ha az összecsődült többséget nevezzük így, akár arra is uszítható, hogy máglyára küldje a tudóst. Laposföld, oltásellenesség, és igazán mérvadó, okos emberek is hiába tépik a szájukat. De ez messze vezet, még ha most sem tudjuk is kikerülni. De nem a relativitáselmélettel függ össze.

Kedves adóellenőr úr...

– Volt adóellenőr.

– Természetesen. Most itt nem tehetünk mást, mint amit előre elhatároztunk: röviden összefoglaljuk az elméletet, amire kaptunk fél órát. De ha már ön is itt van, ennek lesz a tanúja. Arra ennyi idő kevés, hogy akármilyen előzetes indulattal fogadja is, azt maga ez a tudomány megváltoztathassa. Pszichoterapeuta kellene hozzá, hogy föltérképezze, mit érez, gondol egyáltalán és miért valamiről, amivel korábban kapcsolatba sem került. Például érzünk, nemde, egyfajta tartózkodást, máris védekeznünk kell, igazolnunk, hogy az egyszerű polgárnak ez igenis fontos, és ez esetben az egyszerű polgár ön. Láthatóan már a vendéglős barátunk sem egyszerű polgár. Tegyük fel, ön elégedetlen a cég beüzemelésének ütemével, a pénzéért. Fogást keres, akin csak tud, erre van késztetése, mint minden beruházónak. Feszítené a tempót. És ezt relativisztikus szakkérdéssé konvertálja. Elhiszi, hogy a vendéglős barátunk a lelkét is kiteszi az üzlet érdekében, és ha valami késedelem támad, az nem az ő sumákságából adódik?

– Hát... öööö... persze, miért?

– Úgy értesültünk, hogy neki invariánsokra kellett vadásznia, mert még nem érthette egy vicces elszólásunkat, és a maga elszámoltatásával szemben invariánskeresésre hivatkozott. Aminek aztán tényleg meg akart felelni. Amikor ezt megtudtuk, akkor dőlt el, hogy a barátunk lesz. Most pedig az elemekkel akar megismerkedni, hogy megfeleljen a maga magas igényeinek.

– Fiúk-fiúk, ez itt nem a hadsereg, vagy az iskola. Nincs szükség rá, hogy mindenkit mindenekelőtt porrá alázzanak, hogy aztán nagyobb eséllyel ússza meg élve a gyilkolászatot.

– Mi védjük meg önnel szemben, helyből a relativitáselméletet.

– Mi volt ez az identitásprobléma?

– Vendéglős barátunknak, nyilván szemben önnel, nincsen diplomája. Sőt, érettségije sincs. Azt hitte, hogy emiatt lenézzük, a relativitáselmélet magasából....

– És nem? Komolyan azt akarják beadni nekem, hogy több évnyi egyetem nélkül fölfogható a relativitáselmélet?

– ...villámgyorsan felfogta, hogy nem ez az Eric Berne-féle játszma folyik.

– Ismeri azt a nevet, hogy Jakov Boriszovics Zeldovics?

– Nem.

– A világ egyik legnagyobb, elméleti fizikával, relativisztikus asztrofizikával, kozmológiával foglalkozó tudósa volt, atom- és részecskefizikus, a szovjet atombombaprogram egyik fő szakembere, szerteágazó területeken korszakos eredményekkel. Amúgy egy szovjet tudományos akadémiai kutatóintézetben kezdte, tizenéves laboránsként. Ugyan két-három évnyit később belehallgatott alapvető matematikai-fizikai kurzusokba, de nem végzett egyetemet. Ellenben huszonkét évesen kandidátus, majd huszonöt évesen a tudományok doktora lett. Akár istenáldotta tehetség, mint például a tizenkilenc évesen egyetemet végzett Lev Davidovics Landau, akár sem: ahhoz, hogy valaki akármilyen szintre is emelkedjék a tudományban, nem az iskolai végzettség az egyetlen bejárat. Ahhoz ő maga kell, meg a tudomány. Amúgy a diploma nem is garancia.

– A fizikus barátom szerint a maga kocsijának a GPS-e nem tudná méter pontossággal tudni a Föld felszínén a helyzetét, vagy a társadalom több száz műholdat gardírozni a Föld körül, köztük a műsorszórókat, a katonaiakról nem is szólva, a relativitáselmélet nélkül. Ha tudja ezt a polgár, ha sem. Persze az állatkerti majmok sem tudnak semmit a magas táplálkozástudományról, amelyre támaszkodva etetik őket, és kétségtelenül úgy is jól elvannak.

– Talán már kérdeztem, hogy úsztad meg eddig, amikor kocsmákban léptél föl?

– Mélylélektani elemzés: ezzel a pimaszkodással csak vezekelek. Bocsánat. Magamról szóltam.

– Nyugalom. Én többre értékelem a nyers őszinteséget, mint a jómodort. Ha valaki velem jó modorú, azzal nekem is annak kellene

lennem. Maradjunk az eredeti programnál, ha jól értettem, ebédig a társam minden fontosat megtud a relativitáselméletről. És akkor mindjárt én is.

– Sőt, esetleg én is.

24. fejezet

A világ mindenhonnan ugyanaz, de ugyanannak is kell látszania

Eljött a fél óra, nincs idő sem magyarázatokra, sem bizonyításokra, tényállításokban össze kell foglalni a relativitáselméletet, sőt relativitáselméleteket. Képletek nélkül, nagyjából érthetően. Ez nem jelenti azt, hogy később, amikor majd kitágul a türelem, mint a Világegyetem, ne lehetne bárminek utánanézni. Az ismeretek örömet hordoznak magukban, csak föl kell azt tárni, mint fehérjét a szójából, hogy emészthető legyen. Persze ugyanúgy nem ízlenének mindenkinek; de hiszen a tányért is el lehet tolni...

– Tehetetlenségi vonatkoztatási rendszernek nevezzük, amelyben a szabad test megőrzi a mozgásállapotát. A Galilei-féle relativitási elv szerint az ehhez képest egyenes vonalban, egyenletesen mozgó bármely másik rendszer is ilyen, és ezek között nem lehet méréssel különbséget tenni.

– Ezt Newton még nem tudta, de a tudománytörténet túllépett rajta.

– De tudta, csak bízott benne, hogy valahogy kiválasztható közülük egy fő rendszer. A tudománytörténet viszont nem lépett túl, mert ma is kiválasztható jól közelítő tehetetlenségi rendszer bármely mozgó testhez. A Föld körül keringő űrhajóshoz például megfelel az űrkabinja.

– Erre mi szükség van?

– Hagyományos mechanikai feladatokhoz nagyon jók, mert egyszerű bennük a mozgás leírása. És például a fénysebesség rögzített számértéke is csak az ilyenekhez képest érvényes.

– Hogyhogy rögzített? Nem megmérték, hanem rögzítették?

– Igen, miután ma már általánosan biztosra vesszük a relativitáselméletet, amely szerint a kölcsönhatások sebessége, köztük a fénysebesség mint az elektromágneses kölcsönhatásé, természeti állandó. Nem annak az értékét kell a hagyományból származó méterünkhöz és másodpercünkhöz mérni, hanem ez utóbbiakat kell az állandó értékéből leszármaztatni, gyakorlati okokból közel a hagyományosakhoz.

– A fénysebesség nagyjából háromszázezer kilométer másodpercenként. Ha pontosabban akarom, meg kell mérni.

– Nem. A méter a fény egy másodperc alatti útjának a kétszáz-kilencvenkilenc millió hétszázkilencvenkétezer négyszázötvennyolcad része, tehetetlenségi vonatkoztatási rendszerben mérve. Például a Földön bárkinek az a köze a relativitáselmélethez, hogy azon alapszik bármelyik, mindennapi métere.

– Hát, az már igaz, méterszalagja régóta bárkinek lehet, pedig kevesen látták a párizsi méterrúd-etalont...

– Legyűrűzött.

– Az elektromosságtan alapegyenleteiből adódik egy hullámszerűen terjedő megoldás. Az egyenleteket felíró Maxwell felismerte, hogy ez a fény. Az egyenletek tehetetlenségi rendszerre adódtak, és a fényhullám sebessége a formula szerint irányfüggetlen. A vízbe dobott kő kör alakban terjedő hullámegyüttest kelt, azaz sok hullámot minden irányba, amelyek egyforma sebességgel haladnak, ha állunk a vízben. Ha viszont hajózunk benne, a hajó vonatkoztatási rendszerében mérve akár az is lehet, hogy a velünk haladó hullám áll, míg a másik a hajó sebességének kétszeresével elmarad. Ebben a rendszerben nem áll fenn, hogy a hullám sebessége irányfüggetlen. Hasonlót vártak a fénytől, feltételezve, hogy az is valamilyen közeg rezgése; de jó volna!, az összes tehetetlenségi rendszerek közül az volna az abszolút, amelyben ez a közeg áll. Csakhogy ilyen közeg nincsen, a kimutatására irányuló kísérletek kudarca szerint a fény sebessége irányfüggetlen bármelyik tehetetlenségi vonatkoztatási rendszerben, és ő rezgés önmagában. Nem lehet „vele haladni”, ugyanaz a fényhullám ugyanolyan gyors bármely tehetetlenségi rendszerből mérve. Ez csak úgy lehetséges, ha például a fényforráshoz képest mozgó vonatkoztatási rendszerből nézve a fény sebessége nem úgy adódik össze a mozgással, ahogy kis sebességeknél megszoktuk, hanem a távolságok menetirányban kisebbnek mérhetők, és ezzel ugyanolyan arányban az időtartamok is. Ez a Lorentz-transzformáció. Két akármilyen sebességet sem adhatunk össze a kisebbeknél megszokott egyszerűsítéssel.

– Ez látszólagos rövidülés?

– Nem jó szó. Ez a korrekten megmért mozgási hosszak kisebb volta. Ugyanúgy nem látszólagos, mint a lövészek Coriolis-ereje: azt számításba kell venni, ha – gyakorlati okokból – ragaszkodunk a földfelszínhez rögzített vonatkoztatási rendszerhez. De most hadd ne magyarázzak, mert akkor nem ebédelünk ma.

– Azért az invariáns kerüljön szóba.

– Invariáns például a vektorok, vagyis az irányított távolságok hossza. Ha elforgatom ezt az edényalátétet, nem változik ennek az evőpálcának a hossza fölötte.

– És a Lorentz-kontrakció?!

– Bizony. Amikor állok hozzá képest, legföljebb elforgatom a rendszert, nincs gond. De mozgásban más a hossz; hogy úgy mondjam, állva a két vége ugyanakkor van valahol, a mozgásból nézve ez az egyidejűség nem marad egyidejűség. Majd a társa elmondja, mi a helyzet a száguldó vonat és a peronja végeivel. Az órák nem járnak egyformán, hanem kölcsönösen, ugyanolyan arányban sietnek a hozzájuk képest mozgó órákhoz képest. Van azonban mód rá, hogy találjunk olyan, vektorszerű mennyiséget, amely változatlan, azaz invariáns, amikor tehetetlenségi vonatkoztatási rendszert váltunk. Erre éppen ugyanama fény sebességének minden tehetetlenségi rendszerben ugyanakkora volta ad módot. Minkowski vezette be azt a négydimenziós vonatkoztatási rendszert, amelyben formálisan ugyanolyan alakúak a térbeli kiterjedések, illetve az időből alkotott negyedik koordináta. Az ilyen térben elhelyezkedő, négydimenziós távolságelem, hogy úgy mondjam, a négydimenziós evőpálca hossza invariáns, amikor ilyen rendszerek között váltunk. Ez pontosan a fénysebesség állandóságának a kifejeződése.

– Mindez a fényjelenségeken túlmegy.

– A speciális relativitáselmélet azt fejti ki, hogyan kell átírni a fizikai egyenleteket, az elektromágnességtanét és a mechanikáét is, ahhoz, hogy az alakjuk és az alapállandóik ne változzanak meg, amikor az egyik vonatkoztatási rendszerről a másikra áttérünk. A hagyományos newtoni mechanika más módon változna, mint az elektromágnességtan. A kettő együtt a régi módon nem ment, a fénysebességre vonatkozó mérések szerint az elektromágnesség az igazi, a mechanikán kell változtatni, éspedig a Lorentz-transzformációval. Ezek után a fizikai egyenleteket úgy kell átírni, hogy a Lorentz-transzformációra invariáns formájúak legyenek, például ahol négydimenziós vektorok vannak bennük, az meg fog felelni.

– Erők? Sebességek? Gyorsulások? Ez mind vektor!

– Egészen pontosan, illetve az ezeknek megfelelő, négydimenziós mennyiségek. Minden vektor prototípusa a koordinátarendszerben fölvett vonaldarab, hiszen ez adja az irányítottságot. Vannak összetettebb megfelelők, amiket tenzoroknak neveznek. A hagyományos három dimenziót kiegészítő negyedik összetevő megrázó felismeréseket eredményezett. Ma a mindenapi élet részét képezik.

– Például?

– Newton eredetileg nem a szabad test sebességéről, hanem a lendületéről, a sebesség és a tömeg szorzatáról mondta ki a megmaradási tételét. Könnyen elő lehet állítani ennek a négydimenziós megfelelőjét. Ebben szerepel a test tömege. Ezt az adatot például súlyméréssel mérhetjük meg, vagy oly módon, hogy a második Newton-törvénynek megfelelően a testet erőhatásnak tesszük ki, és ezáltal a test tehetetlenségének mértékéhez jutunk. A newtoni fizikában ez a két tömeg, a súlyos és a tehetetlen, arányos volt, sok mérés bizonyította, messze vezető következményekkel. Newton három tizedesjegyig tudta; Eötvös és utódai olyan pontossággal igazolták, hogy a kétféle tömeg egybeejtése az általános relativitáselmélet egyik pillére, és ma már szintén nem mérési eredmény, hanem alapaxióma. Csakhogy a súlyméréskor a test a mérőhöz képest nyugalomban van, az erőhatás mérésekor viszont változik a lendület, és a sebesség változásának az a következménye, hogy a tehetetlen tömeg nem lesz azonos a súlyos tömeggel, hanem az eredeti súlyos, vagy nyugalmi tömegnél nagyobbnak mérhető. Oly módon, hogy hiába akarnánk erővel gyorsítani a testet, mennél gyorsabb lenne, annál nagyobb tömeget kellene tovább gyorsítanunk. Ezért nem érhető el erőtani szempontból a fénysebesség.

– Ez a tömegnövekedés?

– Viszonylagos növekedés. Nem nő a tömeg, hanem mozgásban nagyobbnak mérődik. Ahogy nem összezsugorodik menetirányban, hanem mozgásában rövidebbnek mérődik.

– A Newton-törvény szerint *eff* egyenlő *emmszer a*, ami azt jelentette, hogy a lendületváltozást okozó hatást nevezzük erőnek, és a lendületváltozás gyorsaságával mérjük. Ezt bőven kifejtetted klasszikus fizikailag.

– Igen. A relativisztikus megfelelője ugyanígy szól, csak a négydimenziós lendületet kell venni, és persze a négydimenziós erőt is. Katartikusan szép, amikor az ember megtudja, hogy különbözőnek látszó dolgok összetartoznak. A négydimenziós erő negyedik komponense megmutatja, hogy a testen végzett gyorsító munka hogyan növeli a test energiáját. Azzal megnő a tehetetlensége is, mert a mindenkori tömegének mindenkor megfelel az energiának és a fénysebesség-állandó négyzetének a hányadosa.

– Ezt jelenti a híres E egyenlő *emmszer cénégyzet*.

– Továbbá a második Newton-törvény négydimenziós megfelelőjéből olvasható ki, hogy egy test energiáját nem mérhetjük

nullától, ha a sebessége nulla is, hanem a kezdő adat a nyugalmi tömeg és a fénysebesség négyzetének a szorzata.

– Igen, ezt még én is ismerem, ez a nyugalmi energia. Csak nem értem. A hamu is elégethető?

– Dehogy. Ez azt jelenti, hogy az energia és a tömeg lényegében ugyanaz a mennyiség, mindennek van energiája is, tehetetlensége is, és a kettő arányos. Ha a nyugvó testet gyorsítani kezdem, megnő a tömege is, az energiája is; a hagyományos mozgási energia csak az összenergiájának a közelítő növekménye, ahogyan álltunkból mérhetjük. Ha két nap kering egymás körül, ez a kettőscsillag kötött állapotban van, az egyiknek energia kellene ahhoz, hogy a másiktól elszabadulhasson. Ez az energia hiányzik. Egy körülöttük távolabb keringő égitest érzékeli, mekkora tömeg van középen, és annyival kisebb tömeget érez. Vagy: tudjuk, egy atommagban hány proton és neutron van. Ismerjük ezek független tömegét. Az egész atommag tömege annyival kisebb ezek összegénél, amennyi tömeg megfelel annak az energiának, ami ahhoz kellene, hogy a részecskék kiszabadulhassanak a kötésből. Vagy: ha radioaktív atommagok hasadnak szét, kiszámíthatjuk, mekkora energia szabadul fel, a „nukleáris hamu" az annyinak megfelelő tömeggel kisebb tömegű lesz. Iszonyú energia ez, a hiroshimai atombomba hatvannégy kilónyi urániumának tömegéből alig egy grammnyi szabadult el, akkora energiával, mint tizenötezer tonnányi trinitrotoluol robbanásáé.

– Miért „speciális" a relativitáselmélet?

–Mert először csak a tehetetlenségi rendszerek egyenértékűségét dolgozta ki Einstein De nem csak azt akarta elérni, hogy ilyenek között lehessen váltani anélkül, hogy a természettörvények alakja megváltozna; hanem azt, hogy egyáltalán ne függjön a természet leírása attól az önkénytől, hogyan választunk vonatkoztatási rendszert. A világ mindenhonnan ugyanaz, de ugyanannak is kell látszania. A tehetetlen és a súlyos tömeg azonossága ráadásul szinte tálalta, hogy a gravitáció azonos természetű a gyorsuló mozgással. Nem lehet megkülönböztetni, miért szorulunk a busz hátuljához, amikor gyorsul; akár azt is hihetnénk, hogy valami nagy tömeg vonz a nehézkedésével a háta mögül. Lehessen tehát a vonatkoztatási rendszer tehetetlenségi, gyorsuló, forgó vagy gravitáló is; bárhonnan nézhessünk, számíthassunk át bármelyik másikba. Mindehhez persze sokkal bonyolultabb matematikára van szükség, nem elég a majdnem euklidészi, egyenes vonalú koordinátarendszereket alkalmazni, a terek „görbék". A dolog lényege ugyanaz, Gauss és Riemann által a matematikai eszközök készen álltak, de a finomabb bonyodalmakat maga Einstein is hónapokig tanulta egy

barátjától. Egyrészt kidolgozta, miként lehet bármely két vonatkoztatási rendszer között átjárni; másrészt megoldotta, hogy ezek közül aztán milyen átjárásokat követel meg a természet maga, hogyan alakítja a térbeli viszonyokat az anyag eloszlása. Ez a leírás lépett a newtoni egyszerű gravitációelmélet helyébe.

– Nem mondhatom, hogy mindezt értem, épp csak sejtek valamit. Ha maguk azt hiszik, hogy majd föladom a szakmámat, és lengőteke helyett átállok szabadidős relativistának, nagyon tévednek. Aki azért jár ide sörözni, hogy ezzel szórakozzék, arra majd szegődtetjük magukat.

– Helyes. Majd vetítünk scifiket is. Nem ettől ürül ki a kocsma, hanem ha megbuggyan a sör. A hagyományos gyógyászattal sem önmagában van a baj, hanem a körítésével és a tálalásával.

– Mikor kezdünk bele az általános relativitáselméletbe? Fekete lyukat akarok, gravitációs hullámokat, ősrobbanást és féregjáratokat. Kocsma nem lehet meg ilyenek nélkül.

– Igen, és kell sör is.

VÉGE