

# Záró megjegyzések

Az olvasó esetleg hiányolhatja az *éter* szót, amely eddig a pillanatig egyáltalán nem fordult elő. Ez a mulasztás tudatos megfontoláson alapul: Ugyanazért nem kerítettünk szót az éterre, amiért a termodinamika-tankönyvek sem hivatkoznak a hőanyagra (kalorikumra). Az éter is, a hőanyag is fontos állomás volt a fizika fejlődésében, de a fizika mindkét esetben nagy lépést tett előre, amikor felismerte, hogy egyik sem létezik. Egy olyan kurzusban, amelynek az a célja, hogy meghatározott terjedelmi korlátok között a fizikát a mai állapotában ismertesse, egyikre sincs szükség. De természetesen az is igaz, hogy az éterfogalomnak és a kalorikum fogalmának a történeti ismerete a fizika mai állapotát is érthetőbbé teszi.

Ennek a döntésnek a következménye, hogy a Michelson–Morley-kísérlet részletes ismertetésére nem térünk ki. Ez a megérdemelten Nobel-díjjal honorált kísérlet arra a kérdésre kereste a választ, hogy milyen sebességgel mozog a Föld az éterhez képest – amelyről azóta tudjuk, hogy nincs. Ma közhelynek számít, hogy éppen ebből a kísérletből tudjuk, hogy nincs, de ez nem így van: Einstein előtt senki se vonta le a kísérletből ezt a

következtetést<sup>34</sup>. *A relativitáselméletből tudjuk, hogy nincs éter. A relativitáselmélet ugyanis olyan „operációs rendszer”, amely „alatt” az egész modern fizika eredményesen működik. Ez az elmélet pedig azon a felismerésen alapul, hogy a fénysebesség minden inerciarendszerben minden irányban ugyanazzal a  $c$ -vel egyenlő, és ez nem egyeztethető össze azzal, hogy (éternek nevezett) hordozó közege legyen. Mint a 2.21. szakaszban már szó volt róla, történetileg sem igaz, hogy a relativitáselmélet a Michelson–Morley-kísérlet analízisének az eredménye.*

Ennek ellenére természetesen a Michelson–Morley-kísérlet a fénysebesség relativisztikus posztulátumának egyik legfontosabb tapasztalati alátámasztása. Nagyon veszélyes pedagógiai eljárás azonban, ha az elmélet kiindulópontjaként állítjuk be, ahogy ez általában történik. Ennek a gyakorlatnak a következménye az a felfogás, hogy a relativitáselmélet csak addig létezhet, amíg a Michelson–Morley-kísérlet „tartja magát”; ha a kísérletet pontosabban megismételve „pozitív effektus” jelentkezne (vagyis észlelni lehetne a Föld mozgását), akkor a relativitáselméletnek vége.

Márpedig pozitív effektust észleltek, és pedig nem akárki. D. C. Miller – egy időben az Amerikai Fizikai Társaság elnöke – hosszú kísérletsorozatban figyelt meg pozitív effektust a 20-as években, de ez nem vezetett a relativitáselmélet katasztrofális bukásához. A relativitáselméletet ugyanis a modern fizika egésze „igazolja”, ezzel a masszív ismeretanyaggal áll szemben

---

<sup>34</sup> Lorentz következtetése például az volt, hogy *az éterhez viszonyított mozgásuk során az órák járása lelassul, a testek mozgásirányú mérete pedig lecsökken.*

Miller eredménye. Ennek mérlegelése után nem mondhatunk mást, mint azt, hogy Miller kísérletében valamilyen felderítetlen körülmény játszhatott közre. Van, aki arra vezeti vissza a pozitív effektust, hogy a kísérlet a Föld forgása és keringése miatt valójában nem inerciarendszerben történt, mások arra a következtetésre jutottak, hogy statisztikus fluktuációk és hőmérsékleti hatások okozták.

Természetesen tudatos mérlegelés eredménye az is, hogy a zavarba ejtő relativisztikus effektusokat nem a Lorentz-transzformációból dedukáltuk, hanem *ad hoc* gondolat kísérletek alapján vezettük be. Azt remélem, hogy ha így járunk el, akkor sokkal kevésbé keletkezhethet az a benyomás, hogy az idődilatació és a Lorentz-kontrakció esetleg nem is „valóságos” jelenség, hanem – valamilyen értelemben – csupán „látszat”. Ezzel a értelmezéssel rendszeresen lehet találkozni.

Az idődilataciót például a Doppler-effektusból következtettük ki. A tárgyalásban megmásíthatatlan tényként kezeltük a fénysebesség állandóságát – végeredményben a cél az, hogy ez beépüljön a fizikai világgépünkbe. Ha még azt is kihasználjuk, hogy a megfigyelhető frekvenciaarány szempontjából mindegy, hogy az adó vagy a vevő nézőpontjából végezzük el a számítást (a fénysebesség állandóságával ellentétben ez nagyon természetes követelmény), akkor arra a következtetésre jutunk, hogy a Doppler-effektusban a frekvenciaváltozást nem csupán a távoldás és a közeledés okozza (miközben a jelek frekvenciája „valójában” változatlan), hanem a frekvenciamegváltozásnak van „valóságos” komponense is, ami az idődilatació következménye.

Másrészt azt is érzékeltetni kell, hogy a Lorentz-transzformáció nélkülözhetetlen. Nem csak azért, mert csak a legegyszerűbb esetek tárgyalhatók nélküle, hanem főleg azért, mert a lényeges pontokra jobban rávilágít, mint a gondolat kísérletek. A Lorentz-kontrakció esetében például a Lorentz-transzformáción alapuló egysoros levezetésből látható legjobban, hogy a jelenség az egyidejűség relativitásának a következménye.

Az 1. fejezetben, amelyben a Lorentz-transzformációról még nem esik szó, homályban maradt a koordinátaidő fogalma, mert csak a sajátidőt vezettük be pontos definícióval. Ez azért nem nagy baj, mert egy koordinátarendszeren belül maradván a koordinátaidő ugyanolyan, mint az a  $t$ , amelyhez a newtoni fizikában hozzászoktunk, hiszen – mint a 2.1. szakaszban láthattuk, – a speciális relativitáselmélet a koordinátaidő általános fogalmát a newtoni fizikából vette át. Az intuíció ez ellen az idő ellen nem tiltakozik, ezért a Minkowski-koordináták bevezetéséig hagyatkozhattunk arra, hogy azt az időtartamot, amelyet a  $\gamma\Delta\tau$  képlet takar, a megszokott módon kell érteni.

Végül szót kell ejtenünk arról is, hogy vajon megdönthető-e a relativitáselmélet. Ez a kérdés ugyanis sokkal többeket érdekel, mint ahányan kíváncsiak rá, mi is ez az elmélet. Válaszért az analóg történelmi példához kell fordulnunk: Megdönthető (volt)-e a newtoni fizika? Igen is, meg nem is. A relativitáselmélet ismeretében aligha mondhatunk mást, mint azt, hogy a newtoni fizika nem állja meg a helyét, mert Einstein elmélete „megdöntötte”. De akkor miért elegendő a mérnököknek még napjainkban is a newtoni fizika? A legtöbb űrszonda pályaszámításához is elegendő Newton gravitáció elmélete. Csak

az olyan különleges precizitást igénylő szondáknál kell számításba venni a relativitáselméletet, mint amilyenek pl. a GPS-ben teljesítenek szolgálatot.

Megdöntésről tehát igazából mégsem beszélhetünk. A relativitáselmélet feltárta azokat a határokat, amelyeken túl a newtoni fizika érvényét veszti. De ezeken a határokon belül, vagyis amikor (1) a sebességek sokkal kisebbek, mint a fénysebesség, és (2) a belső energiák változása nagyon kicsi az  $mc^2$  nyugalmi energiához képest, a relativitáselmélet nagy pontossággal visszaadja a newtoni fizikát.

Valami ilyesmi biztosan be fog valamikor következni a relativitáselmélettel is, de ez valószínűleg éppen olyan váratlan csapásirányból érkezik majd, mint ahogy például az  $E = mc^2$  robbant be a fizikába. Ezt ma még senki se tudhatja. De nem árt felhívni a figyelmet arra, hogy Einsteint nem az a kérdés motiválta, hogy hogyan lehetne matematikailag általánosítani a newtoni fizika tér- és időfogalmát. A fényterjedés fontos problémájára kereste a választ. A problémát magát mások is ismerték, de csak Einsteinnek sikerült olyan elméleti keretek között megoldania, amelyeket ma már a newtoni fizika természetes kiterjesztésének tekintünk. A fizikusok most is fel tudnak tenni olyan kérdéseket, amelyekre a mai fizika vagy egyáltalán nem tud válaszolni, vagy a választ, amit ad, ilyen vagy olyan okból nem érezzük kielégítőnek. A relativitáselmélet érvényességét ez azonban még nem érinti. Az elméletet az fogja megújítani, aki az érvényességi körét konstruktív módon tudja majd kiterjeszteni.