

Könyvszemle

BOKOR NÁNDOR: TÉRIDŐ-GEOMETRIA *Négydimenziós kalandok 18 éven felülieknek*

Bokor Nándor könyvének első három fejezetében minden előkerül, amire a következő huszonhétben szükség lesz. A főszereplő fény, legyen hullám vagy részecske, minden irányban 300 000 km/s sebességgel terjed az űrben, mozogjon bárhogyan a forrása.

Minden pillanatban minden térbeli pont egy esemény, amelyet egy űrállomáson vagy ürexpresszen tartózkodó megfigyelő ír le. Megjelennek a mérést végző manók, akik feladatukat hibátlanul elvégzik, majd eltűnnek. Megtanuljuk, hogyan kell elkészíteni egy téridődiagramot, amelyről minden eredmény leolvasható, ahogyan egy térképen is minden rajta van, ha elegendően gyakorlottak vagyunk, és nem lehet becsapni egy szabásmintával. Gyakorlásként a téridődiagramok segítségével mutatjuk be az állomás és a vonat manóinak óraszinkronizálását.

Az egyidejűség relativitását is téridődiagram szemlélteti, egyúttal az ok és okozat felcserélhetőségének kizárását elemezve. A sajátidő definiálása után a hosszrövidülés és az időtágulás (először olvastam így, magyarul) is formulához jut. A mindennapi gyakorlatban: a GPS műholdjainak időadatainál, ha a tágulást nem számolnánk, a rendszer alkalmatlan lenne helymeghatározásra.

A távolodó vagy a közeledő fényforrás észlelt frekvenciája könnyen számítható. A fénysebesség 60%-ával ($0,6c$ -vel) távolodó zöld fényű forrást már csak az infravörös sugárzásra érzékeny detektor észlelheti. Eljutottunk a Lorentz-transzformációig, amely az eddigi tapasztalatok összefoglalása. Sok tankönyv azzal kezdi a speciális relativitáselmélet ismertetését, hogy felírja a Lorentz-transzformációt a K és K' rendszerben, amiből formálisan megkapható a hosszkontrakció, idődilatáció, sebesség-összetevés. Most viszont túl vagyunk az értelmezésen, az elemzésen, és jönnek az izgalmas példák:

- Időzített bomba a Naprendszer közepén, azaz mekkora sebességgel kell már veszélytelen távolságba vinni a bombát?
- Az ikerparadoxon elemzése alapján mondható ki a maximális öregedés elve: az az űrhajós öregszik a legtöbbet, aki a két esemény között egyenes világvonalon – relaxáltan, kikapcsolt hajóművű űrhajón – utazik.

- Tachion antitelefon paradoxon: Előbb érkezik válasz, mint ahogy a kérdés elhangzott.
- Állandó gyorsulása mozgással negyven biológiai év alatt elérhetünk százmillió fényév távolságra.
- Ha Akhilleusz és a teknős között kezdetben egy kiszámítható értéknél (utolérési limit) nagyobb a távolság, a teknős utolérhetetlenné válik, üldözze Akhilleusz akár a fény sebességével haladva.
- A dinamikai összefüggések felírása egy ütközés sebességeit szemléltető téridődiagram elemzésével indul. A newtoni impulzusmegmaradási törvény felhasználása közvetetten lehetséges több ütközés elemzése alapján, hiszen az impulzus formulája még nem ismert. A harmadik dinamikai fejezet szolgáltatja az impulzus, a negyedik pedig az energia formuláját.
- A tudománytörténet leghíresebb, $E = mc^2$ formulája pontosan is megjelenik egy póló fényképén (bár a négyzetgyökös kifejezés sokat rontana a népszerűségén).
- Az impulzus és energia kapcsolata ismeretében felírhatjuk az energia-impulzus négyesvektort, amely formailag a téridődiagramot idézi. Az energia-impulzus négyesvektor hossza a tömeg, amely a fénysebességnél lassabban mozgó testeknél pozitív, a fotonnál zérus, tehát 45 fokos szöget zár be az energiatengellyel, míg a tachionoknál képzetes, ami arra utal, hogy fiktív részecskéről van szó.
- Az energia-impulzus vektor lehetővé teszi mind a rugalmatlan, mind a tökéletesen rugalmas ütközések szemléletes, ugyanakkor kvantitatív tárgyalását.

Két dinamikai példa:

- A fotonrakéta, amely működése során úgy veszít tömegéből, hogy közben csak nulla tömegű részecskéket bocsát ki.
- Azt, hogy a melegítés tömegnövekedést okoz, kétatomos gáz energia-impulzus négyesvektorának elemzésével lehet igazolni.

A gravitációs erő végre olyan fogalom, amelyet sikerült az iskolában megértenünk fizikából. Ezért nem kevés érvelésbe kerül annak elmagyarázása, hogy gravitációs erő nincs. A bizonyításhoz úrhajóval kell kísérletezni, amelyen a jelenségek olyanok, mint a Föld felé szabadon eső testben. A szabadon eső test inerciarendszerként viselkedik („*Csak az a vég, csak azt tudnám feledni*” – Madách Imre: *Az ember tragédiája*).

További példák – további fejezetek:

- A majdnem fogalmának bevezetése: A Föld felé szabadon eső kabinban majdnem pontosan úgy zajlanak a jelenségek, mint a kikapcsolt hajtóművű úrhajóban a világűrben.

- Sík és görbült felület laposlények számára (nem a lapos Föld elmélete!).
- Görbült téridőben globális (a téridő végtelenjét felölelő) inerciarendszer nem létezhet. Csak lokális inerciarendszerek létezhetnek, amelyek mindegyike a görbült téridőnek csak egy-egy kis tartományát fedi le.

Mindezekről szól a 331 oldalas könyv. De nem enciklopédikus műről van szó, hanem egy módszertani bevezetésről a speciális relativitáselmélet legfontosabb gondolataiba. Azért íródott, hogy a legcélravezetőbb módszert kínálja a relativisztikus gondolkodásmód elsajátításához. Relativisztikusan gondolkodni anyanyelvi szinten.

Az eredményeket leginkább áttekinthető módon téridődiagramokon lehet követni, megvitatni. Mondhatjuk, hogy a könyv bevezetés a téridődiagramok szerkesztéséhez, leolvasásához és értelmezéséhez. A bevezetésnél szereplő úrállomás és ürexpressz hamarosan K és K' rendszerekként nyernek polgárjogot. És ha nem is hangsúlyozzuk állandóan, de a méréseket a minden eseménynél jelen levő manók végzik.

Bele lehet feledkezni ebbe a világba, de a vizsgált jelenségre kapott formulák ellenőrizhetők. Néha közvetlenül, amikor a távolodó forrás zöld fényt sugároz, amit infravörös-ként mérünk, vagy a GPS-helymeghatározás pontosságával, amit a szereplő műholdak idődilataciójának figyelembevételével érhetünk el. A relativitáselmélet az emberléptékű világban fejlődött ki, de nélkülözhetetlenné a részecskefizikában és a csillagászatban lett.

A könyv meghatározó sajátága a felvetett kérdések gondos megválaszolása, a fokozatos meggyőzés taktikája. Kerüli az olyan unalmas felszólításokat, mint például: Vegyük A-t, helyettesítsük B-be, és algebrai rendezés után megkapjuk C-t! Mennyivel barátságosabb, a képzeletet jobban tángítja a könyvből idézett részlet: „Gondoljuk végig ezeknek a képleteknek az igazságát. Az egyik állomásbeli manó ott volt a Q eseménynél, egy másik pedig az R eseménynél. A kettejük pólójára írt x értékek különbsége, dx éppen azt az x -irányú elmozdulást adja meg, amit az űrkabin megtett a két esemény között. A két manó óráján leolvasott t koordináták különbsége, dt pedig azt adja meg, hogy mekkora időtartam telt el közben.” (100.)

Ez nem egy különleges idézet: ez a könyv stílusa. Minden részletet megmagyaráz, bemutat. Egy bonyolult összefüggés származtatása fárasztó lesz így is. De a jókedvű fáradság jutalmat hordoz magában, mint amikor egy kezdetben homályos gondolatot sikerül pontosan megfogalmazni.

A megfogalmazás a könyv egyik fő erőssége. Kifejező irodalmi nyelv: nemcsak tartalmában pontos, de mondatszerkesztésében, az alkalmas szavak megtalálásában is sikeres. A néhány hét alatt megszülető könyvek korában ritka erény az effajta stiláris kidolgozottság.

Ajándék ez a könyv azoknak az egyetemi hallgatóknak, akik a szerző kurzusait látogatják. Ugyanakkor nagy lehetőség mindenkinek, aki a relativitáselmélet világában akar tájékozódni. És elmúlt tizennyolc éves, azaz emlékszik még néhány dologra a középiskolás matematikából. Remélhetően szabadon belelapozhat egy fóliázatlan példányba.

(Bokor Nándor: *Téridő-geometria. Négydimenziós kalandok 18 éven felülieknek.* Budapest: Typotex Kiadó, 2023, 331 o.)

Füstöss László

ny. egyetemi docens,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Természettudományi Kar Fizikai Intézet