

# Éter, matematika és metafizika

## (Vázlat az éter újkori fogalmának történetéről)

*„A leginkább elismert és legáltalánosabb fizikai elméletek között van kettő, melynek különlegesen alapvető szerepe van: az atom- és az éterhipotézisnek. Mindkettő olyan metafizikai alapokon nyugszik, melyek ma már aligha találnak követőkre, s mindkettőnek változatos sors jutott az idők folyamán.” (Walter Ritz, 1908.)*

*„Az éter szó többször megváltoztatta jelentését a tudomány fejlődése során... Története egyáltalában nem ért véget: folytatódik a relativitás elméletében.” (A. Einstein és L. Infeld, 1938.)*

### BEVEZETÉS

Az „éter” kifejezés XX. századi kultúránkban egyrészt a mindennapi szóhasználatban ily névvel emlegetett orvosi altatógázt, másrészt a fizikában sokáig létezőként föltételezett különös közeget, a „fizikai éter”-t jelöli, mely a XX. századi ember számára Einstein nyomán elsősorban hiányáról ismert.

A szónak e két, látszólag kapcsolat nélküli, egymástól idegen modern jelentése valójában igen bensőséges viszonyban áll a szó eredeti, klasszikus értelmével: mindkét modern szóhasználat magában hordozza a tisztaság és a finomság képzetét, és utal a metafizikai-transzcendens dimenzióra. Bár az altatógáznak mint reális, jól azonosítható, evilági kémiai

entitásnak a maga konkrétságában nincs sok köze a természetfilozófia és a fizika éter jó fogalmához, ezen utóbbi szempontjából is kifejező és releváns, hogy az elbódító, a világot előbb elillanóvá, lebegővé tévő, majd a normális alvástól különböző, mind az ébrenléten, mind a közönséges alváson túli állapotba eljuttató orvostechikai eszközt éternek nevezzük: az orvosi altatógáz e tulajdonságaiban szubjektív, az embert közvetlenül érintő módon jelennek meg a sokáig létezőnek tekintett természetfilozófiai-fizikai éter megfelelő „objektív” – vagy legalábbis ilyennek föltételezett – tulajdonságai. Ha az altatógázzal történő orvosi altatás processzusa az élettől a halál irányába történő elmozdulásnak, azaz egy különös, még az élethez tartozó, de már a halált is megkísértő állapotba való „utazás”-nak képzetét kelti föl bennünk – amelyre gondolva a mindennapok szilárd szerkezetű világa evidenciáival együtt bizonytalaná, kérdésessé, elillanóvá válik –, akkor a fizikusok által sokáig létezőként kezelt, ám a fogalmi és a tapasztalati-kísérleti megragadására tett próbálkozások elől mindig elillanó, „megfoghatatlan” éter hasonlóképpen tette bizonytalaná fogalmi-teoretikus dimenzióban az újkori fizika evidensnek tekintett ismeretrendszerét, s idézte föl ezáltal a fizika révén sokak által kiküszöbölhetőnek vélt transzcendens szférát és a metafizikát.

A következőkben a fizikai éter fogalmával fogunk kultúr-, illetve gondolkodástörténeti szempontból

foglalkozni. Ez nem azt jelenti, hogy ne fizikáról lenne szó: a fizikai éter mint olyan a fizikához – pontosabban a fizika történetéhez – tartozik. Ám e fizikai fogalomnak az újkori európai tudományos gondolkodásban, az újkori európai természetképben betöltött szerepét, illetve funkcióját fogjuk hangsúlyozni, s nem merülünk el a hozzá kapcsolódó fizikai-technikai részletekben. Ennek során bemutatjuk e fogalomnak Descartes-tól Newtonon át Einsteinig ívelő történetét, s megpróbáljuk megvilágítani a relativitáselméletnek és általában a modern fizikának az éterhez való viszonyát.

## DESCARTES TERMÉSZET-FILOZÓFIÁJA ÉS AZ ÉTER

Az újkori európai természettudomány kialakulásának egyik markáns mozzanatát a tökéletesnek, változatlannak és öröknek tekintett égi világ és a tökéletlen, mulandó földi világ arisztotelianus-skolasztikus szembeállításának fölszámolásában, a kozmosz materiális egységességére vonatkozó természetfilozófiai meggyőződés fölülkerekedésében azonosíthatjuk. Az égi és a földi világ dualizmusának e megszüntetése az égi világ isteni természetének elvetését egyoldalúan hangsúlyozó tudománytörténet-írással szemben valójában kétirányú volt. Egyrészt „a természet könyvét a matematika nyelvén írták” platonikus-galileánus metaforájának jegyében a természet új fölfogása az eredeti platóni–arisztotelészi fölfogással szemben a földi természeti jelenségekben, folyamatokban is matematikai rendet, matematikai struktúrákat és törvényszerűségeket föltételezett, s ennyiben „lehozta a földre” a korábban tökéletesnek tekintett égi világ egyik lényeges tulajdonságát, s ezáltal mintegy „platonizálta” a földi világot. Másrészt viszont az újkori természetszemlélet elvetette az égi világ örökkévalóságát és elpusztíthatatlanságát, valamint alakzatainak tökéletes geometriai jellegét, s azt ugyanúgy változékonyak, romlandónak, s ebben az értelemben tökéletlennek tekintette, mint a földi létezőket. Az égi és a földi világ ezen egyneműsítéséből pedig szükségképpen következett a különleges finomságú, örök és elpusztíthatatlan platóni–arisztotelészi „ötödik elem”, az ég anyagát képező éter elvetése is. Ha mármint az éter ezután – bár más tartalommal és szereppel, de ennek ellenére mégsem csak nevében, hanem jellegében is a régi éter jól fölismerhető örököséként – szinte azonnal vissza

is lopakodott az új természetképbe, akkor ennek részben természetfilozófiai, részben fizikai oka volt.

Az újkori éterfogalom elsőként Descartes fizikájában – valójában természetfilozófiájában – jelent meg. E természetfilozófiát és fizikát elsősorban *A filozófia alapelvei* című művében találhatjuk meg, mégpedig normatív és programatikus jelleggel, azt is meghatározva, hogy milyennek kell lennie az új tudománynak.

*A filozófia alapelvei* – miként az egész descartes-i filozófia is – a jelentősen megváltozott kontextus és tartalom ellenére ismeretelméleti-metafizikai szempontból a platóni–arisztotelészi fölépítést és struktúrát, s általában a görög szellemiséget követi a nem-érzéki eredetű biztos tudás és a csupán hipotetikus jellegű, valószínű tudás – az episztemé és a doxa – kettősségének fönntartásával. Descartes-nál ez a kettősség a racionalista ismeretelméleti beállítódásból fakadt. Így *A filozófia alapelvei* első két részében Descartes azon ismeretelméleti, metafizikai és ontológiai – ezen belül a második részben természetfilozófiai – alapelveit fejt ki, amelyekhez fölfogása szerint az ész segítségével juthatunk el, s melyek filozófiájának kontextusában bizonyosak, nem férhet hozzájuk kétség. Bár mai szemmel nézve már a második rész is tartalmaz fizikát, a tulajdonképpeni fizika csak a harmadik részben kezdődik. S itt Descartes – tekintettel arra, hogy az érzéki-tapasztalati világ dolgairól van szó – hangsúlyozza, hogy csak hipotetikus tudásról lehet szó.<sup>1</sup> Igaz, a descartes-i filozófia kontextusában e hipotetikus tudás két oldalról is alátámasztást nyer: annak összhangban kell lennie a biztos elvekkel, s ha ez az összhang fönáll, a biztos elvek az ész oldaláról valószínűsíthetik e tudás igazságtartalmát. Másrészt összhangban kell lennie a tapasztalati világgal is. Bár Descartes nyomán sem az elveknek való megfelelés, sem a tapasztalati világgal való összhang, sem e kettő együttes jelenléte nem szünteti meg a „látható világ”-ról szóló tudás hipotetikus jellegét, azt igen valószínűvé teheti.

Descartes hipotetikus fizikájának egyik természetfilozófiai – azaz még nem hipotetikus – alapelve, hogy az isteni előrelátásnak és bölcsességnek ellentmondana, ha olyan fizikai világot föltételeznénk, mely csak Isten beavatkozása révén képes működni. Ennek éppen az ellenkezője következik a karteziánus filozófiából: a fizika – a „res extensa”, azaz a „kiterjedt dolog” vagy természet – isteni alkotmánya olyan, hogy önmagában megállja helyét, az nemcsak működik (Isten által adott) öntörvényei szerint, hanem ha történetesen Isten azt nem jelenlegi állapotában

teremtette volna meg, ebből a teremtésbeli állapotból is minden isteni beavatkozás nélkül jutott volna el jelenlegi állapotába.<sup>2</sup> (Descartes e fejtegetése előtt kijelenti, hogy a Biblia tanúsága alapján Isten minden kétséget kizáróan jelenlegi állapotában teremtette a világot, s ebben a fizika nem kételkedhet.)<sup>3</sup>

A francia filozófus másik fontos természetfilozófiai alapelvét (mely szervesen kapcsolódott a „res extensa” és a „res cogitans” – azaz a kiterjedt és a gondolkodó dolog – megkülönböztetéséhez, de egyben a kor természetszemléletében fokozatosan uralkodóvá váló fölfogás filozófiai lerögzítése is volt) az az elképzelés alkotta, hogy a természeti történések mind a csupán kiterjedésükkel, alakzatukkal, valamint mozgásukkal jellemzett természeti részecskék

*„...az első típusból épül föl a Nap, s épülnek föl az állócsillagok, a másodikból az ég, a harmadikból a Föld a bolygókkal és az üstökösökkel.”*

(Descartes: *A filozófia Alapelvei* III. rész 51. pont)

közvetlen érintkezésének és ütközéseinek eredményei, s így a fizikai világban semmi olyan sincs, mely az emberi lélek vagy gondolkodás mintájára céltudatosan működne. Ez az alapelv azonos a görög atomista természetmagyarázat alapelveivel, azzal az eltéréssel, hogy Descartes elveti e részecskék oszthatatlanságát – azaz azok Descartes-nál nem atomok –, s szemben az atomistákkal, akik a részecskék mozgását az önállónak tételezett űrben képzelt el, Descartes arisztotelianus marad annyiban, hogy tagadja az üres tér lehetőségét.<sup>4</sup>

Descartes további alapelve, hogy a részecskék mozgás- és ütközési törvényei, valamint a részecskékből fölépülő nagyobb természeti struktúrák törvényei matematikai jellegűek, s egzakt matematikai formában is leírhatók.<sup>5</sup> Tekintettel azonban arra, hogy Descartes előbbi természetfilozófiai elve szerint a természetben valójában minden az alkotórészecskék alakjára, mozgására és közvetlen ütközéseire vezethető vissza, a karteziánus természetfilozófiában a nagyobb természeti – így csillagászati vagy kozmológiai – struktúrák esetében megjelenő matematikai szabályok csupán a mikroszinten lezajló események és szabályosságok következményei.

Az újkori természettudomány – még akkor is, ha számos részlet tekintetében szembekerült vele – végeredményben ezt a fenti, vázlatosan ismertett karteziánus programot valósította meg, ami persze nem azért történt így, mintha a természettudósok Descartes műveit szemük előtt tartva dolgoztak volna. Descartes a már régóta érlelődő új gondolkodásbeli tendenciákat szintetizálta rendszeres filozófiává, ily módon döntő lökést adva előretörésüknek és föllükkeredésüknek.

E főnti összefüggésekben, a „látható világ”-ról szóló valószínű, de mégiscsak föltételezett tudás keretében jelenik meg Descartes természetfilozófiájában újból az éter fogalma, az éppen csak fölöslegessé és megtagadottá vált arisztotelianus-skolasztikus éter modern utódjaként. Descartes hipotetikus fizikája ugyanis három jellegzetes részecsketípust különböztet meg, s úgy tekinti, hogy minden testi létező – Descartes itt használt kifejezésével az egész „látható világ” – ezekből épül föl. Közülük a „középső” – mely apró, sima, gömb alakú, s ugyanakkor a legállandóbb, legkevésbé változó típus – az „ég” anyaga, s mint ilyen a platóni–arisztotelészi ötödik elem utódja.<sup>6</sup>

A fizikában később meghonosodó két éterfogalom – a „gravitációs éter” és a „fény-éter” – azonban még-

sem ezzel a karteziánus anyaggal lesz azonos, bár azok az okok és funkciók, melyek miatt a fizikai világ teljesebb megértésére törekvő fizikusok és természetfilozófusok föltételezésükre kényszerültek, bensőséges kapcsolatban álltak a karteziánus természetfilozófiával.

## A NEWTONI VONZÓERŐ MISZTIKUS JELLEGE ÉS A GRAVITÁCIÓS ÉTER FOGALMA

Az, hogy létezik valamiféle természeti törvény, mely a súlyos testeket égitestük középpontja felé mozgatja, másrészt hogy van egy olyan törvény is, mely a bolygóknak a csillagok – így a Nap bolygóinak a Nap – körüli keringését szabályozza, Descartes idejében nyilvánvaló volt. Descartes filozófiájából ugyanakkor az következett, hogy e törvények csak másodlagos törvények lehetnek, hiszen például a Nap részecskéi nem érintkeznek a körülötte keringő bolygók részecskéivel, amiképpen a Föld felé szabadon zuhanó test és a Föld részecskéi sincsenek kapcsolatban egymással. Ebből következőleg az e jelenségekre érvényes törvények Descartes nyomán csupán a részecskék alakjára, mozgására és közvetlen ütközési törvényeire visszavezethető, másodlagos (szekundér) törvények lehetnek.

Az előbb ismertett általános természetfilozófiai alapelveit követve Descartes a kozmoszt fölépítő részecskék föltételezett alakjából és mozgásából kiindulva természetfilozófiai-kvalitatív magyarázatot vázolt föl mind a gravitáció, mind pedig a bolygók ke-

ringési törvényeire, amelyeket ekkor még (hiszen Newton előtt járunk) nem tekintettek a gravitációs törvénnyel azonos természetűnek. Ennek során azonban e másodlagos törvények konkrét, matematikai formájú megfogalmazását és a kozmosz anyagát adó részecskék mozgástörvényeiből történő levezetését Descartes-nak nem sikerült megadnia: természetfilozófiájának keretében mindennek elérése csupán a jövőre vonatkozó, reménybeli matematikai-fizikai program. Ezzel szemben Newton nem csupán az egyetemes tömegvonzás elvét mondta ki, hanem matematikailag meg is formulázta e törvényt, s bebizonyította, hogy ebből mind a földi szabadesés törvénye, mind az égitestek mozgástörvényei levezethetők.

Látszólag tehát azt mondhatjuk, hogy amiben Descartes és az őt követő karteziánusok kudarcot vallottak, Newton sikerrel járt. A tárgykör közelebbi vizsgálata nyomán azonban egyértelművé válik, hogy ez nem igaz. Az egyetemes tömegvonzás Newton által matematikailag precízen megfogalmazott törvénye ugyanis a vonzóerő fogalmán alapul. Ha korábban Arisztotelész a nehézkedést azzal magyarázta, hogy a nehéz elemek (a föld és a víz) a Föld középpontja felé törekednek, Newton most ugyanezt azzal okolta meg, hogy a tömegek vonzóerővel rendelkeznek más tömegek vonatkozásában, mégpedig akkor is, ha azok nem érintkeznek egymással, hanem tetszőleges távolságban helyezkednek el egymástól. Mivel ezt Newton minden tömeg egyetemes tulajdonságának tekintette, a tömegek Newtonnál – akkor is, ha távol vannak egymástól – kölcsönösen vonzzák egymást.

Csak hogy a vonzóerő fogalma igen hasonlít az arisztotelészi természetes törekvés fogalmára, amennyiben óhatatlanul antropomorf jellege van, s a reneszánsz természetfilozófiát jellemző, de az újkori természetfölfogás által radikálisan elvetett és okkultnak-misztikusnak tekintett „vonzó” és „taszító” erőknek, természeti „szimpátiáknak” és „antipátiáknak” utódja. Nem is beszélve arról, hogy a newtoni vonzóerő érintkezés nélkül hat, s így nemcsak a karteziánus természetfilozófia egyik meghatározó alapelveként mond ellent, hanem annak, az újkori fizikát előkészítő skolasztikus fizika által megfogalmazott alapelvnek is, mely szerint egy test nem fejthet ki hatást ott, ahol nem tartózkodik (mivel e képesség a skolasztikus filozófiában csupán a szellemi természetű létezőket illeti meg).

A newtoni vonzóerő fogalma – amely az általános tömegvonzásról szóló törvény alapfogalma – így

gyökeresen szemben állt az újkori természetfölfogással, s nem a fokozatosan uralomra jutó, tudományosnak tekintett új szemléletmód felé mutatott előre, hanem éppen az elvetett, misztikus-okkultnak tekintett régi természetfilozófiát idézte. Egyetlen előnye az volt e régi fogalomnak – s ez az előny az újkori tudományos szemléletmód szempontjából persze fölöttébb hangsúlyozandó erény volt –, hogy egy olyan matematikai formula kapcsolódott hozzá, amellyel kiválóan lehetett számolni, s melynek segítségével – a többi newtoni törvénnyel összekapcsolva – kiválóan vissza lehetett adni, illetve előre lehetett jelezni a földi tárgyak és az égitestek mozgását.

Bár Newton nem lelkesedett a karteziánus filozófiáért – ami nem annyira Descartes, hanem inkább a kortárs Leibniz filozófiájával (és személyével) szembeni ellenszenvében fejeződött ki –, teljesen azonos állásponton volt Descartes-tal abban, hogy az ilyen típusú, közvetlenül (a testek között lévő közeg közvetítése nélkül) távolbahatásra képes erő bevezetése tudományos szempontból elfogadhatatlan, s ezért mint ilyen nem adhat magyarázatot a fizikai jelenségekre.

*„Elképzelhetetlen ugyanis, hogy lélektelen merő anyag anélkül, hogy valami más, nem materiális létező közreműködnék ebben, kölcsönös érintkezés nélkül hasson más anyagra, márpedig így kellene lennie, ha a gravitáció, mint Epikurosz gondolta, lényegi, inherens tulajdonsága volna az anyagnak. Ez az egyik oka annak, hogy arra kértem, ne tulajdonítsa nekem az anyaggal vele született gravitáció gondolatát. Hogy a gravitáció az anyag vele született, inherens és lényegi tulajdonsága, melynek révén egy test egy másikra vákuumon keresztül távolbahatást gyakorolhatna bármi másnak a közbejötté nélkül, ami az erőhatást az egyiktől a másikhoz közvetítené, mindez számomra oly nagy képtelenségnek tűnik, hogy úgy hiszem, nincs ember, aki elfogadja, ha megfelelően jártas a filozófiai okoskodásban. A gravitációt egy állandóan és törvényszerűen ható tényező kell hogy okozza; mármint hogy ez a tényező anyagi-e vagy sem, azt olvasóim megfontolására bízom”* – írta például Newton 1693. február 25-én a Trinity College-ban Bentley püspökhöz.<sup>7</sup>

Az itt kirajzolódó newtoni álláspont lényege, hogy ő csak fenomenológiai leírást adott a gravitáció jelenségéről, amely instrumentálisan ugyan jól használható, ám valójában nem ad fizikai magyarázatot a gravitáció jelenségére. E szövegből kitűnik, hogy Newton – a karteziánusokkal összhangban – elutasítja a fizikai jellegű távolbahatást, s így a gravitáció értelmezésére két lehetőséget hagy meg: az vagy

anyagi érintkezéssel létrejövő, illetve anyagi úton közvetítendő hatás, vagy nem anyagi jelenség.

Newton e megjegyzései mögött komoly, de kudarcot vallott erőfeszítései állnak a gravitációs távolbhatás és a vonzóerő kiküszöbölésére. E kísérleteknek lényegét abban ragadhatjuk meg, hogy Newton a makroszkopikus testek közötti szabad térben egyfajta finom, gyorsan mozgó, apró részecskékből álló, s a tapasztalat által megragadhatatlan kozmikus anyagot föltételezett, melynek részecskéi folyamatosan s nagy mennyiségben ütköznek a makroszkopikus testekkel, nyomást gyakorolva rájuk. Mármint, ha egy ilyen test közelében nincs hasonló test, akkor

ahhoz átlagosan minden irányból ugyanannyi finom kozmikus részecske ütközik, s így minden irányból azonos nyomás fog nehezedni rá. Ha viszont a közelében van egy másik test, e test elhelyezkedésének irányából leárnyékolja a részecskék mozgását, s így innen kisebb lesz az általuk gyakorolt nyomás, mint a másik irányból. Így az egyik test a másik test irányába elmozdul. E modellben például egy kőhöz, mely száz méterre van a Föld felszínétől, a nagy kiterjedésű Föld-tömeg árnyékoló hatása miatt a Föld felől csak igen kevés kozmikus részecske, míg a másik irányból változatlanul sok részecske ütközik. Az így kialakuló nyomáskülönbség miatt a kő – ha ebben nem akadályozza semmi, azaz „szabadon” van – el fog mozdulni a Föld felé, s mivel a Földhöz közeledve ezen utóbbi árnyékoló hatása egyre nőni fog, a növekvő nyomáskülönbség miatt mozgása fokozatosan gyorsulni fog.

Vegyük észre, hogy a gravitáció jellege e modellben teljesen megváltozik: már nem a testekből indul ki, nem a testek misztikus tulajdonsága – „vonzóereje” –, hanem a kozmikus környezetnek, a kozmikus teret kitöltő, specifikus kozmikus anyagnak külső hatása a makroszkopikus testekre. Ez az anyag súlytalan: nem érvényes rá az egyetemes tömegvonzás törvénye, hiszen éppen ő maga az ezen törvény által leírt fizikai jelenségnek oka. Ugyanakkor szükségképpen jóval finomabb is a súllyal bíró anyagnál, hiszen részecskéi a gyors mozgás során nem akadályozhatják egymást, hiszen ellenkező esetben már maga ez a kozmikus anyag leárnyékolná a gravitációs jelenséghez vezető ütközéseket. Végül ismeretelméleti helyzetét tekintve közvetlenül nem tapasztalható: ahol csupán ez az anyag van jelen, a tér üresnek tűnik. Mindezek alapján jogosnak tűnik ezen

anyagot – a görög éterképzetektől való jelentős különbsége ellenére is – az antik éterre utalva éternek nevezni, s ezen elnevezés jogosultságát még inkább megerősíti az, hogy ez az anyag a kozmosz látzólag üres tereinek – azaz az „ég”-nek – az anyaga. Minden bizonnyal ez az oka annak, hogy maga Newton és kortársai is éterként nevezik meg ezt a gravitáció magyarázatára hipotetikusán bevezetett kozmikus szubsztrátumot, melyet mi a továbbiakban „gravitációs éter”-ként jelölünk meg.

Igen fontos momentum, hogy Newton e sikertelen próbálkozásában a newtoni fizikát a karteziánus kozmológia irányában mozdította el. Bár Descartes-tól

*„Őn olykor úgy beszél a gravitációról, mint az anyag lényegi és inherens sajátosságáról. Kérem, ne tulajdonítsa e fölfogást nekem; mivel éppen a gravitáció oka az, amiről nem állítom, hogy tudni vélem, s még jó időbe telne, hogy fontolóra vegyem...”*

(Newton Bentley püspökhöz írt leveléből.)

eltérően nem elvi okokból, de fizikai megfontolásból a kozmikus tér e próbálkozás során nála is elveszíti üres jellegét: azt mindenütt az éter tölti ki. Még fontosabb

azonban, hogy a gravitációs törvény eközben nála is a Descartes-féle elveknek megfelelően szekundér törvénnyé válik, mely az éter és a makroszkopikus testek mozgástörvényeire, valamint közvetlen ütközésekre vezethető vissza, ily módon kiküszöbölve a közvetlen távolbhatást, és ezzel a vonzóerő antropomorf és okkult emlékeket idéző fogalmát.

Ugyanakkor Newton a gravitációs éterrel kapcsolatos próbálkozásaival hasonlóképpen járt, mint Descartes a maga örvényelméletével: bár a gravitációs jelenség minőségi jegyeit visszaadja modellje, a gravitációs törvényt nem sikerült egzakt, mennyiségi-matematikai módon levezetnie e modell kereteiben.

## A GRAVITÁCIÓS ÉTER ÉS A VONZÓERŐ PROBLÉMÁJA NEWTON UTÁN

A gravitációs éter fogalma az újkori fizikába tehát igen komoly ismeretelméleti és természetfilozófiai okok miatt lett bevezetve – s ezen okok konkrét formában a newtoni gravitációelméletnek a közönséges tudománytörténet-írásban és a tudománytörténet népszerűsítésében többnyire elhallgatott hiányosságában jelentek meg koncentrált formában. Ez a hiányosság ugyanakkor mélyen összefüggött azal, hogy Newton és kortársai nem csupán a természet jelenségeinek fölszíni, kalkulatív-matematikai

és egyben a gyakorlati-eszközszerű fölhasználás szempontjából hatékony leírására, hanem a természet működésének mélyebb – az újkori racionalizmus kritériumait is kielégítő – megértésére törekedtek. A newtoni fizika későbbi diadalmenetével párhuzamosan a gravitáció jelensége nem vált érthetőbbé, mint amilyen az Newton idejében volt. Ám a számítógató matematikai eljárásokban, a fizikai jelenségek ily módon történő visszaadásában, s ezzel egyúttal a gyakorlati-eszközszerű fölhasználás tekintetében is rendkívül sikeresnek bizonyuló newtoni fizika által adódó sikerélmény és az ennek nyomán keletkező természettudományos öntudat jegyében hamar a feledés homályába süllyedt ez a körülmény. Bár Newton vonzóerő-fogalma éppen az újkori racionalista természetfölfogás számára jelentett kihívást, e fogalom a Newtonot követő korszak filozófusai és fizikus-termesztudósai számára nagyjából problémamentes és racionális fogalomként jelent meg, amelyre éppenséggel súlyos érveként lehet hivatkozni az „ész” nevében, az észre alapozott tudományos természetszemlélet és filozófia magasabbrendűsége mellett érvelve.

Ez, s nem valamiféle, a Newton által még elismert és tudatosan vállalt tudáshiányt csökkentő újabb fölfedezés volt az oka annak, hogy a gravitációs éter fogalma és a vele kapcsolatos – az egész newtoni gravitációelmélet mélyebb fizikai jelentése és értelme szempontjából alapvető – megfontolások Newton után a fizika fő vonalából eltűntek, s csupán a mélyebb fizikai megértésre törekvő, valamint a természetfilozófiai-ismeretelméleti problémák iránt fogékony filozófusok és természetudósok kisebbsége által művelve, a fizika másod-, illetve harmadvonalának perifériájára szorultak. A „másod- és harmadvonal” itt természetesen nem minőségre, nem a tárggyal foglalkozó személyek képességeire vagy vizsgálódásaik színvonalára vonatkozik, hanem a természettudomány által akkor vizsgált, kutatott tapasztalati-kísérleti és fogalmi-elméleti kérdésekre fektetett hangsúly szerinti hierarchiára.

Így a gravitációs éter eszméje már Newton nagy fizikus kortársánál, Huygensnél (az újkori „fény-éter” fogalmának megalkotója) is fölbukkan, s a XIX. század első felében többek között a modern matematikai analízist (azaz a modern integrál- és differenciálszámítást) kidolgozó kiváló francia matematikus, Cauchy vizsgálódott ebben az irányban, majd a XIX. század utolsó évtizedeiben a kor egyik legnagyobb fizikusa, Thompson – másképpen Lord Kelvin – foglalkozott vele. Az einsteini paradigmaváltást köz-

vetlenül megelőző években pedig ugyancsak intenzíven érdeklődött e téma iránt a modern elméleti elektrodinamika egyik megalapozója és Einstein relativitáselméletének egyik előkészítője, H. Lorentz. Mindez azonban nem változtat azon, hogy az ilyen vizsgálódások az uralkodó fizikán kívül – vagy jobbak esetében perifériáján – maradtak, s ezen az sem segíthetett, ha a tárgykört egyébként éppen az uralkodó irányzat egy-egy elismert vagy egyenesen vezető személyisége vette elő.

Gondolkodástörténetileg ugyanakkor fontos, hogy ezen általános állapot ellenére a XIX. század második felében történt bizonyos hangsúlyeltolódás, s a század második felében a newtoni távolbahatás problematikussága és ezzel a gravitációs éter fogalma – ha a periférián is, de mégis – a korábbinál jóval határozottabban és észrevehetőbben volt jelen a kor természettudományos gondolkodásában. Az, hogy mi e fordulatnak az oka, nem egészen világos. Kétségtelen, hogy e korszakban a következőkben érintendő elektromágneses éter a fizika egyik középponti fogalmává válik, ám úgy tűnik, ez önmagában nem elégséges magyarázat a gravitációs éterrel szemben megnövekvő érdeklődésre. Ráadásul filozófiai szempontból ez az az időszak, amikor a modern természettudományban egyre dominánsabbá váló, de korábban csupán implicit módon jelen lévő instrumentalista-pozitivisták szemléletmód megkapta határozott filozófiai megfogalmazását, melynek jegyében a newtoni gravitációs törvény mélyebb fizikai tartalmával és eredetével – s ezzel a gravitációs éterrel – kapcsolatos kérdésközpontok eleve értelmetlenné váltak.

Ennek ellenére a gravitációs éter, illetve ezzel szoros kapcsolatban a newtoni egyetemes vonzóerő kritikája mint egyfajta alternatív fizika centruma a XIX. században bizonyos – persze erősen behatárolt – karriert fut be. Így például Thomson két elképzelést is kidolgozott a gravitációs éterről, s ma már kevésbé ismert, de a kor akkori fizikája szempontjából is periferikus szerzők között Németországban sajátos szubkultúrája alakult ki a gravitációs éterrel – valamint a gravitációs és az elektromágneses éter szintézisével – kapcsolatos próbálkozásoknak. Ez a szubkultúra azután megjelent a fizika élvonalában is, amikor az előbb említett Lorentz – a relativitáselmélet gondolatait éppen csak megfogalmazó Einsteinnel párhuzamosan – komoly erőfeszítéseket tett egy olyan éterelmélet kidolgozására, amely mind a gravitációelmélet, mind pedig az elektrodinamika követelményeinek megfelel.<sup>8</sup> A XIX. századi gravitációs éterelméletek igazi gondolkodástörténeti és filozófiai

értéke azonban nem az, hogy végül néhány kiváló fizikus kapcsán e tematika újra fölbukkan a fizika élvonalában, hanem hogy a gravitáció természetének megértése céljából megfogalmazódó éterhipotézisek gazdag, változatos tárházát állítja elénk, s ezáltal segítséget nyújt a gravitációs éterrel kapcsolatos problémakör természetfilozófiai, ismeretelméleti – és talán metafizikai – titkának megfejtéséhez.

Különösen a XIX. századi szerzőknél válik igazán láthatóvá, hogy az új gravitációs éterhipotézisek lényege mindig az éter valamely föltételezett – a makroszkopikus vagy súlyos testek viselkedése és fizikai törvényei alapján racionálisnak tűnő – tulajdonságá-

nak elejtése, s így az éternek mintegy kivonása a fizika általános törvényei alól – mégpedig annak érdekében, hogy végül levezethetővé váljék ily módon maga a gravitációs törvény. Ha

e körülményre megfordítva tekintünk, világossá válik, hogy a gravitációs éter makroszkopikus analógiákon alapuló föltételezett tulajdonságai megkötötték, akadályozták az elméletalkotókat a kitűzött cél elérésében. Azaz az éter még megmaradt fizikai-anyagi jellegével volt a baj, s ezért a vele kapcsolatos próbálkozások során újabb s újabb ilyen vonásaitól próbálták azt megszabadítani. S itt nem arra gondolunk, hogy az étert eleve súlytalannak tekintették: ez a gravitációs éter fogalmából következett, hiszen éppen ő maga volt az egyetemes nehézkedés – a súly – oka, hanem például arra, hogy a német gimnáziumigazgató Isenkrahe a gravitációs éterelméletek eddigi kudarcát arra vezette vissza, hogy az éter esetében valamilyen módon mindig föltételezték az energia megmaradását, s értelemszerűleg az éternek e tulajdonságától való megfosztásában látta a kérdés megoldását, vagy hogy az angol Pearson a tömeg megmaradásának elvét adta föl annak érdekében, hogy gravitációs törvényt az éterből kiindulva levezethesse.<sup>9</sup>

Ha viszont az éter makroszkopikus analógiákon alapuló fizikai tulajdonságai zavaróak voltak, miért nem ejtették el az összes ilyen tulajdonságot, kérdezhajtuk? E kérdés éppen a dolog paradox voltára világít rá. A cél egy új fizikai elmélet kidolgozása volt, mely a gravitációra szeretett volna – az eredeti kar-teziánus és newtoni értelemben – elfogadható magyarázatot nyújtani. Föl lehetett volna ugyan tenni azt, hogy az éternek csupán egyetlen tulajdonsága van: éspedig az, hogy egy olyan fizikai törvény-

nek engedelmeskedik, melynek következtében a súlyos testeket a newtoni gravitáció törvényének megfelelő viselkedésre kényszeríti. Csakhogy ez önmagában látszatmagyarázat lett volna. Egy üres, *ad hoc* föltevés; tautológia, amely ugyanúgy nem magyaráz semmit, mint a newtoni vonzóerő. *A fizikai magyarázat érdekében az éternek fizikailag kellett hatnia a nehézkedést mutató anyagra, ehhez pedig fizikai tulajdonságokkal kellett bírnia – mégpedig olyanokkal, amelyek alapján részletesen leírható e hatás, s ráadásul matematikai formába önthető és levezethető belőle Newton gravitációs törvénye.* Az éternek tehát valamennyire fizikai-anyagszerűnek kel-

lett lennie. Ám ismeretelméleti értelemben túl „éteri” volt: nem lehetett tapasztalni, vizsgálni, s így nem lehetett empirikus úton kutakodni fizikai tulajdonságait illetően. Azokat

csak elméleti úton lehetett hozzárendelni – s ez nyilván csak az ismert, látható-tapasztalható fizikai jelenségek alapján történhetett.

Jóllehet a gravitációs éter tulajdonságai a sikertelen elméleti próbálkozások közben egyre távolabb kerültek a makroszkopikus fizikai világtól, az újkori fizikában játszott funkciójából következőleg nem lehetett teljes egészében minden anyagszerűségéből „kimosni”. S ugyanakkor hiába vált egyre finomabbá, egyre „éteribbé”: még mindig megmaradó anyagszerűsége továbbra is megkötötte az elméletalkotók kezét, s nem engedte meg nekik, hogy a newtoni gravitációt segítségével levezessék.

Mindezt figyelembe véve megérthetjük a newtoni gravitációs erő fogalmának sikerességét is: a Newton által bevezetett távolbható vonzóerőben valóban nem volt semmi anyagszerű: távolságtól függetlenül, minden anyagi közvetítés nélkül hatott. Létezése egy olyan posztulátum volt, amely nem foglalt magában fizikai-anyagi működési mechanizmust – elsősorban ebből fakadt mágikus jellege. Ezért a tapasztalatilag-fenomenológiailag adódó összefüggést – azaz a Newton által a gravitációs „erő” mértékére megadott matematikai formulát – közvetlenül hozzá lehetett csatolni. Ha viszont ezen túl még fizikai magyarázatot is keresünk – azaz nem fogadjuk el azt, hogy a testek a téren át minden anyagi-fizikai közvetítés nélkül „vonzák” egymást – szükségképpen anyagszerű, fizikai hatásmechanizmust kell föltételeznünk, ami azonban – mint láttuk – erősen behatárolja a matematikai kalkuláció lehetőségeit. Ez az oka an-

*„Az üres téren át távolba ható erő fogalma mint olyan fölfoghatatlan, ha nem ellentmondó, s csupán Newton után, Newton tanítását félreértve és kifejezett figyelmeztetésével szemben vált a természettudósok általánosan elfogadott elképzelésévé.”*

(E. du Bois-Reymond:

*A természet megismerésének határainól)*

nak, hogy mind Descartes örvényelmélete, mind a newtoni és a Newton követő gravitációs éterelméletek kudarcot vallottak, mint amiképpen annak is, hogy később hasonlóképpen jártak a gravitációs éter anyagszerűségétől egyre inkább szabadulni próbáló, a tárgykörrrel viaskodó kutatók. *Bármennyire „éterizálódott” is a gravitációs éter, a benne megmaradt fizikai anyagszerűség még mindig, továbbra is túl erősnek bizonyult, s megakadályozta, hogy segítségével a kísérletezők Newton egyszerű s szép matematikai formulájáig eljussanak, s ezáltal e formulát a vonzóerő misztikus fogalma helyett anyagi-fizikai alapokra helyezték.*

De a gravitációs éter e problematikája nem csupán a múlt, Descartes, Newton és követők irányában világítja meg jobban a dolgot, hanem – mint látni fogjuk – Einstein felé is, aki általános relativitáselméletével a gravitáció értelmezésében is fordulatot hozott. Mielőtt azonban erre rátérnénk, az előbbieknél jóval rövidebben kitérünk az Einstein által „metafizikai kacatként” kidobott elektromágneses éter fogalmára.

## **AZ ELEKTROMÁGNESES ÉTER ÉS AZ ABSZOLÚT VONATKOZTATÁSI RENDSZER KÉRDÉSE A XIX. SZÁZADBAN**

Newton idősebb fizikus kortársa, Huygens a fényt hullámnak tekintette, s a fény hordozó közegeként még a gravitációs éter megjelenése előtt bevezette az újkori fizikába az éternek mint a fény terjedési közegeként – a továbbiakban a „fény-éter”-nek – a fogalmát. Huygens hasonlata szerint a fény oly módon terjed hullámként az éterben, mint a levegőben a hang. Newton viszont a fényt részecskékből állónak tekintette, s elvetette a fény-éter létezését.

Mint ismert, a Newton utáni fizika kezdetben a fény természetét illetően is elsősorban Newton részecskeelméletét követte, melyhez nem volt szükség az éter fogalmára, s a hullámelmélet képviselői háttérbe szorultak. A XIX. századra azonban a fény hullámtermészetével kapcsolatos elképzelések váltak uralkodóvá, s a század második felére az is nyilvánvalóvá vált, hogy a látható fény csupán egy speciális változata az elektromágneses hullámoknak. Tekintettel arra, hogy a klasszikus fölfogás – és a XX. századi fizika sajátos fogalomvilága által még meg

nem zavart természetes józan ész – szerint a hullámok értelemszerűleg valamilyen közegben terjednek, a fény és az elektromágneses sugárzás hullámtermészetére vonatkozó elképzelés magában foglalta a fény-éternek, illetve a fény-éter kiterjesztett fogalmának, az elektromágneses éternek képzetét.

A XIX. század második felében mind az elektromágneses jelenségek részletes kísérleti-empirikus megismerése (többek között Faraday és mások révén), mind az ezekben föllelhető törvényszerűségek egzakt matematikai formulákba (így a Maxwell által megállapított, s az einsteini speciális relativitáselmélet szempontjából is nagy jelentőségű Maxwell-egyenletekbe) öntése sikerrel járt, s ennek során mind az empirikus ismeretek, mind a jelenségeket megragadó egzakt matematikai egyenletek a hullámelmélettel voltak összhangban. Az elektrodinamika ekkori sikerei ezért az elektromágneses éter elméleti helyzetét is megerősítették: annak létezése a század utolsó harmadának fizikája számára evidencia volt. S bár az elektromágneses éterrel kapcsolatos elméletek is hasonlóképpen küszködtek ezen fogalom által szükségképpen föltételezett anyagi-fizikai mozzanatokkal, mint amiképpen ezt a gravitációs éterelméletek esetében láttuk, s ez az éter is eléggé „éter” volt mind ismeretelméleti, mind pedig elméleti szempontból, hiszen a közvetlen tapasztalat számára ez sem jelent meg, s tulajdonképpen mibenlétével kapcsolatban is talány uralkodott, e fogalom mégsem volt oly mértékben problémás a kor fizikája számára, mint a gravitációs éter. Egyrészt itt szó sem volt távolbhatásról: az elektromágneses jelenségek és hatások – s közöttük maga a mindenki által jól ismert fény – véges sebességgel terjednek, s így nem jelent meg az a probléma, hogy miképpen lehetséges közvetlen ütközések vagy más, közvetlen érintkezésben megvalósuló hatásátadások segítségével egy látszólagosan távolbható erőt előállítani. Másrészt az adott fizika keretében az elektromágneses hullámok mint az elektromágneses éter rezgései empirikusan adva voltak, azaz ha maga az éter nem is, de annak rezgései megjelentek számára.

Sőt, az elektromágneses éternek – s általában az elektromágneses jelenségeknek – volt egy olyan, a kor természetképe szempontjából előnyös mozzanata, melyre a tudománytörténészek és a filozófusok mindeddig nem figyeltek föl igazán. Mint közismert, a klasszikus newtoni fizikához hozzátartozott az abszolút tér fogalma. E tér a newtoni elmélet számára nem csupán a fizika metafizikai-természet-



filozófiai keretéhez tartozott hozzá, hanem – a tehetlenség fogalmán keresztül – a fizikának is elengedhetetlen részét alkotta. Ugyanakkor a newtoni törvények olyanok, hogy ezt az abszolút teret megragadhatatlanná teszik: annak következtében, hogy Newton elméletében az ezen térhez képest nyugvó és az ezen térhez képest egyenletes mozgást végző fizikai rendszerek megkülönböztethetetlenek egymástól – azaz, annak következtében, hogy a relativitáselmélet későbbi kifejezésével Newton törvényei „Galilei-invariáns”-ak – Newton fizikájában empirikus oldalról elvileg azonosíthatatlanok az abszolút térhez képest nyugvó testek. Bár van egy abszolút vonatkoztatási rendszer, az empirikusan földeríthetetlen és azonosíthatatlan.

Mármost abból az elképzelésből, hogy az elektromágneses hullámok az éterben terjednek, az is következett, hogy az ezen éterhez képest mozgó rendszerekben az elektromágneses hullámokra vonatkozó törvényeknek más formában kell megjeleníteniük, mint a nyugvó rendszerekben. A Maxwell-egyenletek matematikai viselkedése pedig összhangban volt ezzel az elvárással: ezen egyenletek kitüntettek egy abszolút vonatkoztatási rendszert, azaz nem voltak Galilei-invariánsak. Erre a tényre a mából a relativitáselmélet fényében úgy szoktak tekinteni, mint fogyatékosra, pedig valójában erény volt: szemben a newtoni egyenletekkel, melyek elvileg kizárták az elmélet számára konstitutív tényezőként szereplő abszolút tér mint abszolút vonatkoztatási rendszer empirikus azonosíthatóságát, a Maxwell-egyenletek az elektromágneses éter vonatkozásában megadták ennek lehetőségét.

Amikor Michelson és Morley nevezetes kísérletében megpróbálta a Földnek az éterhez képest való mozgását meghatározni, végül is ezen vonatkoztatási rendszer empirikus megragadásával próbálkozott. S bár e kísérlet – miként a többi hasonló kísérlet is – eredménytelennek bizonyult, valójában ez nem vezetett az elektromágneses éter létezésével kapcsolatos kételyhez: a létezésére vonatkozó elképzelés oly erős evidenciát képezett a kor fizikája számára, hogy a negatív kísérleti eredményeket nem az éter hiányára vezették vissza, hanem más megoldásokat kerestek. A legjelentősebb, s még ma is ható elméletet elsőként Fitzgerald és – tőle függetlenül – a már említett Lorentz fogalmazta meg, s azt ez utóbbi szerző matematikailag és fizikailag

részletesen is kidolgozta. Eszerint létezik egy olyan fizikai törvény, mely kompenzálja az éterhez képest történő mozgásból adódó hatást: az éterben haladó testek hosszúsága a haladás irányában a sebesség függvényében összehúzódik. Maga Lorentz meg is adja ezen összehúzódás matematikai képletét, mely a későbbi nevezetes „Lorentz-transzformáció” részét képezi.<sup>10</sup>

Lorentz összehúzódási – „kontrakciós” – hipotézise megoldotta az akkori negatív kísérletek problémáját. E megoldás kifogástalan fizikai hipotézis volt, ám természetfilozófiai-metafizikai szempontból érdekes helyzetet teremtett: bár adva volt egy kitüntetett vonatkoztatási rendszer, s az elektromos jelenségekre vonatkozó egyenletek olyanok voltak, hogy elvi szempontból lehetővé tették ennek empirikus megragadását, a Lorentz-hipotézis alapján adódó természetkép szerint a természetben működött egy másik törvény is, amely különös módon pontosan kioltotta e lehetőséget.

## ALBERT EINSTEIN ÉS AZ ÉTER: I. AZ ELEKTROMÁGNESES ÉTER ÉS A SPECIÁLIS RELATIVITÁS ELMÉLETE

A szokványos tudománytörténet-írás és a relativitáselmélet bevezető kurzusai az empiria által vezérelt természettudomány mítoszának jegyében úgy állítják be, mintha a most említett negatív eredménnyel járó kísérletek a kor fizikájának akut problémáját képezték volna, s Einsteint ez vezette volna a speciális relativitás elméletéhez. Ez azonban a tudománytörténetnek a mai tudomány jegyében történő eltorzítása. Einsteint valójában nem érdekelték a kísérleti eredmények, sem az abszolút vonatkoztatási rendszerekkel kapcsolatos empirikus problémák. Sőt, amíg a kor fizikusainak többsége számára az abszolút vonatkoztatási rendszer létezése evidencia volt, Einstein számára – elsősorban a fizikus-filozófus Mach hatására – az ilyen kitüntetett rendszerek gyanúsak és zavaróak voltak. Másrészt az, ami Newtonnál az abszolút rendszer empirikus megragadhatatlanságát okozta – a Galilei-invariancia – Einstein számára az elmélet matematikai szépségének részét

*„A folyamatosan negatív eredmény számos kutatót arra ösztönzött, hogy végül földadja az éter mechanikus fölfogását, s belőle – Drude szavaival – fizikai teret csináljanak. Jogos a kérdés, hogy mily valóságértéke van, s mennyiben csupán játék a szavakkal, ha e médiumnak a testekre való »hatás«-áról beszélünk.”*

(Walter Ritz)

képezte, míg az ilyen invarianciával nem rendelkező Maxwell-egyenletek zavaróak voltak számára, hiszen invariancia nélkül nem érezte ezeket eléggé szépeknek és harmonikusaknak.

Ugyanakkor éppen kiderült: a Maxwell-egyenletek matematikailag tekintve mégiscsak invariánsak, ám nem a Galilei-féle, hanem a Lorentz által fölfedezett és matematikailag Poincaré által is elemzett Lorentz-féle invariancia szerint.<sup>11</sup> Einstein számára az egyenletek ezen Lorentz-féle matematikai invarianciája megteremtette annak lehetőségét, hogy a fizikai invarianciát is visszaállítsa: a speciális relativitáselmélet lényege, hogy oly módon ad fizikai tartalmat a Lorentz által matematikailag fölismert összefüggéseknek, hogy az elveszett Galilei-féle invariancia helyett egy új invariancia – a Lorentz-féle – jegyében újra visszaállítja a fizikai törvények egyetemesen invariáns jellegét. Ezen egységes invarianciából következik azután Einstein elméletének az a közismert állítása, mely szerint empirikusan nem mutatható ki semmiféle abszolút vonatkoztatási rendszer, s az egymáshoz képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző rendszerek nem csupán empirikusan, hanem elvileg-teoretikusan is egyrangúak és megkülönböztethetetlenek.<sup>12</sup> Ezért Einstein számára Mach filozófiája nyomán – aki empirikus azonosíthatatlansága miatt már a newtoni abszolút teret is elvetette –, az elektromágneses éter is értelmetlenné vált.

Nagyon fontos, hogy ha a fizikai hosszúságok összehúzóására vonatkozó Lorentz-elméletet kibővítjük az éterhez képest mozgó fizikai rendszerekben zajló folyamatok (így az órák) lelassulásának hipotézisével – ez a kiterjesztett Lorentz-hipotézis – *tapasztalati oldalról nézve Einstein és Lorentz elmélete megkülönböztethetetté válik*. Ugyanakkor elméletileg gyökeres az ellentétük: Lorentznál van elektromágneses éter, csupán látszólag hiányzik az abszolút vonatkoztatási rendszer, s csupán matematikailag és fenomenológiailag áll fenn a Lorentz-invariancia. A Lorentz-féle elmélet keretében a fizikai törvények csupán azért tűnnek a tapasztalatban invariánsoknak – és ebből fakadóan az egymáshoz képest egyenes vonalú egyenletes mozgást folytató rendszerek szimmetrikusaknak –, mert az éterhez képest mozgó testek hossza fizikailag-valóságosan összehúzódik, az így mozgó órák járása fizikailag-valóságosan lelassul. Ugyanakkor Lorentzcel szemben Einsteinnál nincs elektromágneses éter és abszolút vonatkoztatási rendszer; a hosszúságok csak „látszólag”, relatíve húzódnak össze, az órák és a fizikai folyamatok csak látszólag, s nem valóságosan lassulnak le.

Ezért Einstein elméletét félreértve állíthatjuk csupán azt, hogy Einstein megcáfolta volna az elektromágneses éter létezését. Valójában ő csak annyit tett, hogy megmutatta: az elektrodinamika lehetséges ezen éter s a hozzá kapcsolódó abszolút vonatkoztatási rendszer föltételezése nélkül is: elmélete csupán ezen éter és az abszolút vonatkoztatási rendszer empirikus kimutathatóságát, de nem létezésének cáfolatát mondja ki. Ugyanakkor ennek igen nagy fogalmi ára van Einsteinnál: a látszólagos-relatív összehúzóások és óralassulások egy bizonyos ponton már az ő elméletének keretében is túl erős fizikai tartalmat kapnak, s ha ebből az elmélet matematikai és empirikus szintjén logikai ellentmondás nem is keletkezik, az elmélet fogalomrendszere valahol mélyen mégiscsak inkonzisztenssé válik. Óhatatlanul földéződik a párhuzam Newton távolbaható vonzóerejével: Einstein elméletének mélyén hasonlóképpen problémák rejlenek, mint ahogy problémás volt Newton távolbahatása is. Mindez ugyanakkor nem érinti az elmélet fizikai sikerességét és használhatóságát, mint amiképpen Newton elméletének alkalmazhatóságát sem érintették a vonzóerő fogalmával kapcsolatos kételyek.

Einstein elméletének előbb jelzett, s itt egyáltalában nem részletezhető fogalmi problematikussága az oka annak, hogy a kiterjesztett Lorentz-hipotézisnek, ha kisebbségben is, de mégis számos fizikus követője akad még ma is: ennyiben az elektromágneses éterelméletnek elnyomott, másodlagos fizikai paradigmaként Einstein után is maradtak követői. Közéjük tartozott a kiváló magyar fizikus, Jánossy Lajos, aki – a Lorentz-hipotézis mai követőinek többségéhez hasonlóan – nagy hangsúlyt fektetett arra, hogy Einstein egyenletei, elméletének matematikája feltétlenül helyesek, s csupán e matematika interpretációjában van helye a vitának. *Lorentz nyomán tehát az elektromágneses éter elmélete ma is, az einsteini elmélet teljes matematikai összefüggésrendszerének s a belőle folyó empirikus következtetéseknél teljes elismerésével is követhető, mivel e két elmélet között elvileg nem lehet tapasztalati úton, a fizikai világ megfigyelésével dönteni*.

A helyzet tulajdonképpen paradox: a tapasztalati fizikára vonatkozó azonos következmények, valamint a teljesen azonos matematika miatt a vita, a különbség ismeretelméleti szempontból természetfilozófiai, illetve metafizikai és nem fizikai jellegű. Ugyanakkor a két elmélet gyökeresen más képet nyújt magáról a természetről és a fizikai világról, s ennyiben ellentétük mégiscsak mélyen „fizikai”. Igaz, a „jó” fizi-

kust mindez nem érinti: számára csak az a fontos, hogy kiválóan tud Einstein képleteivel számolni, s számításainak eredménye pontosan egyezik azzal, amit megfigyel. (Mint amiképpen a newtoni gravitációs törvénnyel sikeresen számoló fizikusokat sem érdekelte a newtoni „vonzóerő” problematikussága.)

## ALBERT EINSTEIN ÉS AZ ÉTER: II. A GRAVITÁCIÓS ÉTER ÉS AZ ÁLTALÁNOS RELATIVITÁS ELMÉLETE

**H**a a speciális relativitáselméletnek mint új elektrodinamikának egyik meghatározó vonása az elektromágneses éter kiküszöbölése, akkor a gravitációs éter Einstein általános relativitáselméletében mint a gravitáció új elméletében mintegy „célba ért”. Ugyanis *súlyos fogalmi hibát tartalmaz az a szokványos megközelítés, mely szerint a Newton által struktúra nélkülinek tekintett fizikai térről Einstein – úgymond – fölfedezte volna, hogy struktúrája van: a tér „görbült”. Valójában nem erről van szó. Maga Einstein is hangsúlyozta, hogy bár a speciális relativitáselméletnek nincs szüksége az éterre, az általános relativitás elmélete magában foglalja az éter egyfajta – természetesen a XIX. századi éterképzetektől gyökeresen különböző – fogalmát. Einstein ennek során természetesen a gravitációs jelenségekért felelős, s matematikai oldalról a görbült geometriai terekkel leírt tér-idő kontinuumra gondolt. Ez egy olyan geometriai struktúrával leírt, reálisnak föltételezett fizikai mező, melyre a fizikában gyakran gravitációs térként vagy gravitációs mezőként szokás hivatkozni, s amely fizikai értelemben objektív: létezése nem függ az általunk választott vonatkoztatási rendszertől.*

Téves tehát az a fizikusok körein kívül uralkodó elképzelés, hogy Einstein teljesen relativizálta volna a tér-időt, s azt teljesen a koordinátarendszer választásának függvényévé tette volna. Az általános relativitás elméletében ugyanis kétféle gravitációs mezővel – azaz geometriai struktúrával (népszerűen „görbültséggel”) rendelkező tér-idő kontinuummal – találkozhatunk. Ezek közül az egyik típus valóban a vonatkoztatási rendszer választásának függvénye. Ha ilyen gravitációs terünk van – azaz ha tér-idő

kontinuumunk a vonatkoztatási rendszer megválasztása miatt „görbült” –, mindig található egy olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben a tér-idő Minkowski-félevé (görbületmentessé) válik, azaz a gravitációs mező megfelelő vonatkoztatási rendszer választásával eltranszformálható. Ebben az esetben fizikailag azt kell mondanunk, hogy nincs jelen valószínűségi gravitációs tér, az csupán a vonatkoztatási rendszer megválasztásának, a rendszerünk mozgása miatt föllépő relativisztikus effektusnak a következménye. A másik típus esetében bármily vonatkoztatási rendszert is választunk, megmarad a tér-idő „görbültsége” – azaz a gravitációs mező –, s így ilyenkor valószínűségi gravitációs tér vagy mező jelenlétéről beszélhetünk. Ezen esetben tehát jelen van valami, ami tőlünk független, s amelynek leírása csupán annyiban függ a vonatkoztatási rendszer megválasztásától, hogy az azt leíró konkrét geometriát

*„Helyesebb lett volna, ha korábban megjelent írásaimban az éter létezésének teljes tagadása helyett csupán arra fektettem volna a hangsúlyt, hogy az éternek nincs semmiféle sebessége.”*

(Einstein 1919. november 15-én kelt, Lorentzhez írt leveléből)

e választás ugyan befolyásolhatja, ám alapstruktúráját nem változtathatja meg.

Mármost ez az utóbbi, a most jelzett értelemben nem relatív gravitációs me-

ző (amely Einstein elméletében a tér-idő kontinuum görbültségeként jelenik meg), nem a newtoni térnek, hanem a korábbi gravitációs éternek az utódja. Az általános relativitáselmélet nem a korábban görbületnélkülinek tekintett tér görbültségét vezette be, hanem a korábbi – bár egyre inkább elvontabbá váló, fizikai tulajdonságait egyre inkább elvesztő, ám némi fizikai jelleget mégis megőrző – gravitációs étert helyettesítette egy fizikai funkcióval – a gravitáció létrehozásával és „szabályozásával” – bíró, ám jellegében, viselkedésében tisztán matematikai-geometriai jellegű létezővel: az einsteini tér-idő kontinuummal. Einstein elmélete a korábbi fizikai teret – azaz Newton terét – nem görbültté, hanem fölöslegessé teszi, kizárva azt fizikájából – hasonlóan ahhoz, ahogyan a speciális relativitás elmélete fölöslegessé teszi a maga szempontjából az étert. Ezzel egyidejűleg magát a gravitációs étert teljesen geometriai jellegűvé finomítja: ez az a tér-idő kontinuum, melyre a görbült tér-időként szokás hivatkozni.<sup>13</sup> (Természetesen bevezethető olyan elvont, filozófiai anyagfogalom, mely a tisztán geometriai jellegzetességekkel bíró fizikai teret is anyagszerűnek, vagy egyenesen anyagnak tekinti. Mi azonban itt a történeti áttekintés kontextusának megfelelően a hagyományos fizika szerinti, a testszerűséghez, illetve részecskeszerűséghez kötődő anyagszerűsége gondolunk, s ezt a

hozzárendelt matematika által jellemzett, s hagyományos fizikai-testszerű tulajdonságokkal nem rendelkező, főképpen a XX. századi fizika által bevezetett fizikai entitásokkal állítjuk szembe.)

Ami a newtoni teret és időt illeti, ezt Einstein elmélete ismeretében is megtarthatjuk: föltételezhetjük, hogy az einsteini tér-idő kontinuum a maga struktúrájával ebben helyezkedik el, hasonlóképpen ahhoz, amiképpen a korábbi gravitációs étert a newtoni térben föltételezték. Einstein elméletének azonban nincs szüksége e fogalomra: az einsteini fizika számára e fogalom fölösleges. S persze Einstein ebben is – mint mindenben – bölcsőbb és mélyebben látó volt rajongó követőinél: ő tisztában volt azzal, hogy elmélete nincs ellentétben egy mindent tartalmazó, fizikailag semleges eukleidészi háttér-tér és háttér-idő képzetével, csak éppen Ernst Mach filozófiájának ismeretelméleti kritériumait követve fölöslegesnek tekintette, hogy egy alapvetőbb és eredendőbb fizikai tér és idő fogalmát használjuk akkor, amikor a fizikai jelenségek enélkül is megmagyarázhatók. Einstein az őt követő és a XX. század természetképét uraló „einsteinianus” természetszemlélet hamis képzetével szemben világosan látta, hogy egy „eredendőbb” fizikai tér-idő bevezetése vagy elvetése a relativitáselmélet jegyében is olyan nyitott kérdés marad, melynek megválaszolásában már nem a fizikáé, hanem a filozófiáé a főszerep.

A gravitációs éter és az einsteini elmélet viszonyához visszatérve emlékezzünk csak vissza arra, hogy a vele foglalkozó elméletalkotók fő gondját ezen éter föltételezett anyagszerű tulajdonsági okozták, mivel ezek megkötötték kezüket a matematikai kalkulációban, s e probléma a gravitációs éter fizikai anyagszerűségének fokozatos elillanásával járt. A gravitációs éterfogalom fejlődésének e tendenciája már Einstein egyik nagy fizikus példaképénél és elődjénél, Lorentz-nél közel jutott a tisztán matematikai jellegű éterig. Lorentz ugyanis nem csupán az elektrodinamika elméleti-matematikai alapjai tekintetében fejtett ki jelentős tevékenységet, hanem előrehaladott vizsgálatokat folytatott egy éterbázisú új gravitációelmélet kidolgozásában is. Lorentz e vizsgálódásai azután Einstein egész más fogalmi alapokon kidolgozott – de ugyanakkor, mint láttuk, a gravitációs éter fogalmát egy igen sajátos, matematizálódott formában átvevő – általános relativitáselméletének sikerességével aktualitásukat veszítették.<sup>14</sup>

*Einsteinnel végpontjához érkezett a gravitációs éter anyagszerűségének elillanása, s az teljesen matematikai-geometriai jellegűvé vált. Ez egyszerre je-*

lentette a gravitációs éterrel kapcsolatos kísérletek diadalát és bukását. Diadalt jelentett, hiszen egy folytonos fizikai entitás jegyében sikerült kiküszöbölni a newtoni gravitációs távolbahatás és a testek vonzerejének problematikus fogalmát: sikerült elérni azt a célt, amely érdekében a gravitációs éter fogalma bevezetésre került. Bukást jelentett annyiban, hogy ennek ára a gravitációs éter teljes matematizálódása, a makroszkopikus világra akár csak némileg is emlékeztető fizikai anyagszerűségének teljes eltűnése volt. Ha az éterbázisú gravitációelméletek célja a testek különös képességeként tételezett, anyagi-fizikai közvetítés nélküli gravitációs vonzóerő eltűntetése, s a gravitációnak a tradicionális fizika értelmében vett anyagszerű folyamatokra való visszavezetése volt, akkor most a vonzóerő mint a testek különös képessége és a terjedési időt nem igénylő távolbahatás ugyan kiküszöbölődött, ám a helyére az einsteini görbült tér-idő kontinuum lépett, mely azon túl, hogy természeti-fizikai létezőként tételezték, semmi hagyományos értelemben vett fizikai anyagszerűséget nem tartalmazott már. Egyetlen tulajdonságának a matematikai jellegű „görbülség” maradt meg mint a gravitáció oka és közvetítője, s ennyiben a kiküszöbölt, de ugyancsak matematikai jellegű „vonzóerő”-höz vált hasonlatossá. Azonban ez az utóbbi – a korábbi éterképzetekhez képest negatív – tulajdonság is bizonyos értelemben a gravitációs éter története beteljesedésének tekintendő, amennyiben e történet során – mint láttuk – az egyik jellegzetes tendencia éppen a fizikai anyagszerűségnek ez az elillanása és ezzel összefüggésben a matematizálódás volt.

Eme matematizálódás következtében ugyanakkor Einstein gravitációelmélete – azaz az általános relativitás elmélete – sikeressége ellenére komoly természetfilozófiai és ismeretelméleti kérdéseket vet föl. Bár a tér-idő kontinuum görbülségéből levezethetők a gravitációs jelenségek, s ennek során nem kell föltételeznünk azt, hogy a testeknek terjedési sebesség nélküli távolbahatató vonzóerejük van, óhatatlanul fölvetődik a kérdés, hogy e fizikaként föltételezett, de tisztán matematikai jegyekkel jellemzett sajátos, tapasztalatilag közvetlenül nem megfigyelhető létező ugyancsak nem megfigyelhető görbülségével mennyivel átláthatóbb, racionálisabb és érthetőbb oka a gravitációnak, mint a newtoni vonzóerő? E kérdést persze a ma uralkodó fizika nem teszi föl, hiszen Einstein elmélete jól működik, jól lehet vele számolni – mint amiképpen annak idején hasonló okok miatt a newtoni vonzóerő fogalmára sem kérdezett rá a Newton utáni uralkodó fizika, ha-

nem inkább a newtoni összefüggésekkel való sikeres és hatékony, az égitestek és a földi tömegek mozgását hihetetlen pontossággal megragadó számításokkal foglalta el magát.

Az éter történetének e sajátos célbaérését és ugyanakkor a fogalomnak az eredeti cél szempontjából visszajára fordulását találóan és kifejezően fogalmazta meg a századfordulón egy fiatalon elhunyt fizikus, *Walter Ritz*, aki (az erős matematizálódás ellenére még a klasszikus éterelméletek közvetlen folytatásának tekinthető) Lorentz-féle elmélet kapcsán arról elmélkedett, hogy az éter fogalmi története során fizikai tartalmából egyre inkább kiürülve olyan „matematikai kísértet”-té vált, melynek a testekre gyakorolt hatásáról beszélve egyáltalában nem bizonyos, hogy értelmes kijelentéseket fogalmazunk meg: „Azt fogjuk találni, hogy az éter már eleve is szerény szerepe méginkább összezsugorodott. Absztrakcióról absztrakcióra haladva oda jutottunk, hogy csupán abszolút koordináták rendszerét lássuk benne. Egy matematikai kísértet, mely nem állja ki a tapasztalat próbáját.”<sup>15</sup>

Bár Ritz kritikája a Lorentz-féle és a hasonló kortárs elektrodinamikai éterelméletekre vonatkozott, könnyű belátni, hogy az vonatkoztatható a közel egy évtizeddel később megszülető einsteini gravitációs tér-idő fogalmára is. Sőt, azt is láthatjuk, hogy maga Einstein Ritzhez hasonlóan jellemezte e folyamatot, s saját elméletét újabb előrelépésnek tekintette a Ritz által leírt matematizálódásban – igaz, Ritz kritikai élű megközelítésével szemben pozitív hangszíval, az éter hagyományos fizikai tulajdonságainak eltűnését s általában a fizika matematizálódását pozitív folyamatként értékelve:

„Föltehetjük az éter létezését, de el kell tekintenünk attól, hogy meghatározott mozgásállapotot tulajdonítsunk neki, azaz meg kell fosztanunk attól az utolsó mechanikai jellemzőjétől is, amit még Lorentz meghagyott neki.”<sup>16</sup> „Az általános relativitáselmélet étere egy olyan médium, mely nem rendelkezik semmiféle mechanikai vagy kinematikai tulajdonsággal, de szerepet játszik a mechanikai (és elektromágneses) események meghatározásában.”<sup>17</sup> (*Kiem.: Sz. L.*)

Einstein a fizika – s ennek részeként az éter – e matematizálódásában a természet racionális bizonyítékát látta. Ez azonban már egy egész másfajta racionalitás-fölfogást előfeltételez, mint ami Descartes-

tól kezdődően az újkori természettudományt jellemezte. Ritz előbbi gondolatmenetét továbbgondolva ugyanis óhatatlanul fölvetődik a kérdés: *vajon mennyivel inkább intelligibis, mennyivel nagyobb megvilágító erejű a tapasztalatilag megragadhatatlan, csupán geometriai konstrukcióként leírt és geometriai tulajdonságokkal jellemzett tér-idő – részben éppen a benne jelen lévő fizikai tömeg és energia által létrehozott – görbültségével, e „görbültségnek” a látható-tapasztalható jelenségekre gyakorolt hatásával magyarázunk a gravitációt, mint a newtoni „vonzóerő”-vel?*

## AZ ÉTERPROBLÉMA METAFIZIKAI TITKA

A görögöknél – a püthagóreusoknál, Platónnál és Arisztotelésznél – az éter egyfajta tiszta, tökéletes égi anyag volt, melynek tisztasága és tökéletessége mindenekelőtt az örök és változatlan matematikai arányok és geometriai alakzatok szerinti mozgásban nyilvánult meg. Erre gondolva pedig azt kell mondanunk, hogy az éterfogalom újkori története összhangban van azzal a természetfilozófiai gondolattal, amely ezen régi görög elképzelésekben kifejeződött.

Az újkori éter már eleve egy olyan fizikai létezőként lett bevezetve az újkori fizikába, melyet a makroszkopikus létezőknél finomabb anyagként föltételeztek. Egyrészt az volt a funkciója, hogy fizikai magyarázatot adjon a precíz matematikai formulával leírható, de Newtonnál a téren át terjedési idő nélküli távolbaható, s ennyiben nem anyagszerű vonzóerővel okolt gravitációra, másrészt a fény csupán föltételezett, de közvetlenül nem tapasztalható közvetítő közegeként jelent meg. A gravitációs éter alap gondolata ennek során az volt, hogy a gravitációs törvény mint precíz matematikai formula szerint működő fizikai törvény és az ebből eredő, matematikailag jól kezelhető struktúrák (például a bolygópályák kepleri ellipszisei stb.) csupán másodlagosak, azokat lokális fizikai események – a gravitációs éternek mint finom s tapasztalatilag megragadhatatlan anyagnak – folyamatai hozzák létre. A gravitációs éter mint anyag finom volt és elvont, mivel csupán elméleti-

„Az általános relativitáselmélet szerint a térnek fizikai tulajdonságai vannak. Ebben az értelemben az éter létezik. Az általános relativitáselmélettel összhangban a tér éter nélkül elképzelhetetlen.”

(Einstein „Éter és relativitáselmélet” című tanulmányából)

„A fizikai tér és az éter ugyanannak a dolognak különböző kifejezései csupán.”

(Einstein: *Hogyan látom a világot?*)

leg föltételezték létezését, miközben a tapasztalatban nem jelent meg, másrészt pedig egy tapasztalatiilag megjelenő matematikai összefüggés okaként, annak létrehozójaként – azaz egy szekundárnak tekintett matematikai összefüggés „primérjeként”-vezették be. A másodlagosnak tekintett matematikai összefüggés – a newtoni gravitációs formula – levezetése azonban ennek ellenére sem sikerült, s ezen a gravitációs éter további finomodása-matematizálódása sem tudott segíteni.

Végül Einstein erősen matematizálódott elméletében a „fény-éter” (értsd: az elektromágneses éter) fölöslegessé vált, míg a Newtonnál bevezetett egyszerű gravitációs formula – bár megőrizte pontos matematikai jellegét – egy jóval bonyolultabb formulává alakult át, s ez a bonyolultabb matematika nyerte el fizikai magyarázatát a már teljesen matematikai-geometriává transzformálódott einsteini tér-idő kontinuumban, mint a gravitációs éter utódjában. A gravitáció oka és matematikája közötti viszony ennek során azonban már nem a korábbi gravitációs éter és a newtoni formula viszonyát követte, hanem az einsteini gravitációs törvény matematikai formulája ugyanúgy közvetlenül az oknak tekintett tér-idő kontinuumhoz rendelődik hozzá, mint amiképpen a newtoni távolbaható erőhöz is közvetlenül kapcsolódott a newtoni formula. *Ezáltal pedig Einsteinnél eltűnik a gravitáció matematikájának mint a kozmosz szerkezetét uraló matematikának levezetett – szekundér – jellege.*

Bár nem ennyire jellegzetesen, de hasonló összefüggéseket figyelhetünk meg az elektromágneses éter kapcsán. Mint már jeleztük, a speciális relativitáselméletben e fogalom eltűnik, s az elektrodinamikát a Maxwell-egyenleteken túl a vonatkoztatási rendszerek közötti transzformáció matematikai formulái határozzák meg. A Lorentz-féle relativitáselméletben pe-

dig az elektromágneses éter hasonlóan matematikai jellegűvé válik, mint Einstein gravitációs étere – a tér-idő kontinuum – az általános relativitás elméletében.

Descartes a természetben a matematika érvényesülését csupán a kiterjedéssel bíró testi részecskék közvetlen ütközésében föltételezte, s ezt a matematikát a testek kiterjedésével kapcsolatos képzetek, valamint olyan racionálisan levezethető természetfilozófiai tételek segítségével, mint az anyag és a mozgásmennyiség megmaradása, beláthatónak és megkonstruálhatónak tartotta. Ugyanakkor a természet működésében kozmikus jelentkező matematikai jellegű törvények Descartes természetfilozófiájának értelmében csak annyiban érthetők meg racionálisként, ha azokat másodlagosaknak tekintjük, s a testek lokális viselkedésére érvényes törvényekből vezetjük le őket. Az éterelméletek – a karteziánustól különböző newtoni fizika keretében is – e karteziánus elvet követték. Ennek során azonban az éter egyre inkább finomodott és matematizálódott, s végül mindaz, ami a XX. század elejére megmaradt és sikeressé vált belőle, csupán matematikai-geometriai tulajdonságokat őrzött meg magában. Mindez pedig azt mutatja, hogy a matematikai struktúrák sokkal átfogóbban uralják a természetet, mint amiképpen azt Descartes és kezdetben Descartes-tal együtt az újkori természettudomány föltételezte, s ennek részeként a kozmoszt uraló matematikai szabályok, összefüggések – így a gravitáció és az elektrodinamika matematikai összefüggései – nem másodlagos, hanem elsődleges jegyei a természetnek.

*Az újkori éterfogalom történetének tanulsága, hogy a természetben megjelenő, abban megmutakozó s azt uraló matematika a Descartes által megkívánt értelemben nem racionalizálható: e matematikát el kell fogadnunk a természeti világ eredendő, visszavezethetetlen tulajdonságaként.*

## Jegyzetek

1. Vö. pl.: *A filozófia alapelvei*, III. rész 1. pont (*A filozófia alapelvei* magyar kiadásában a mű harmadik részét sajnálatosan elhagyták. Franciául megtalálható pl. a Ch. Adam és P. Tannery kiadásában megjelent *Descartes, Oeuvres IX-2: Principes de la Philosophie*. Paris, J. Vrin 1964. 123–137 o.)
2. Descartes, *A filozófia alapelvei*, III. rész. 43–48. pont.; vö. még uo.: *A Módszerről*, Bukarest: Kriterion, 1977. 76–78. o.
3. Descartes, *A filozófia alapelvei*, III. rész 45. pont.
4. Vö.: *A filozófia alapelvei* I. rész 28. pont, II. rész 4–20, 23. o., III. rész 2–3. pont IV. rész 199–200. pont (Az I. és II. rész, valamint az itt hivatkozott IV. részbeli pontok megtalálhatóak magyarul: Descartes, *A filozófia alapelvei*. Budapest: Osiris, 1996. – A kiadvány címe megtévesztő, hiszen mint már utaltunk rá: a teljes III. rész és a IV. rész túlnyomó része hiányzik belőle.) Vö. még: *A Módszerről*, V. rész. 76–82. o.

5. *A filozófia alapelvei*, II. rész 23. és 64. pont, IV. rész 199–200. pont.
6. id. mű, III. rész 52. pont
7. Newton 1693. február 25-i levele Bentley püspökhöz. In: Newton, *A Principiá'-ból és az Optiká'-ból. Levelek Bentley-hez*. Bukarest: Kriterion, 1981. 188–189. o.
8. Vö. pl.: Lorentz, H. A.: *Proceedings of the Royal Academy of Sciences Amsterdam* 2. (1900)
9. Vö.: C. Isenkrahe, *Das Räthsel der Schwerkraft*. Braunschweig: Vieweg, 1879. illetve Pearson, Karl: „Ether Squirts.” *American Journal of Mathematics*, 13. (1891) 309–362. o.
10. Vö. pl. Lorentz: „Der Inferenzversuch Michelsons”, in: uő.: *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewvgten Körpern*, Leiden: 1895); „Electromagnetic Phenomena in a system moving with any velo-

city smaller than that of light”, in: *Proceedings of the Academy of Sci. Amsterdam Vol. 6.* (1904) Mindkettő megtalálható a többször kiadott Lorentz–Einstein–Minkowski, *Das Relativitätssprinzip* című kötetben (pl.: Vierte Auflage, Leipzig, Berlin: Teubner, 1922.)

11. Lorentz, „Electrodynamical Phenomena ...”

12. Einstein, „A mozgó testek elektrodinamikájáról”, in uő.: *Válogatott tanulmányok*, Budapest: Gondolat, 1971. 55–73. o.

13. Vö. pl.: Einstein, *Äther und Relativitätstheorie*. Berlin: Springer, 1920.; Einstein, „Über die Äther”. *Schweiz. Naturforsch. Gesellsch.* 105 (1924) 85–93. o.

Ezek közül az előbbiben Einstein az általános relativitás elmélet tér-idő kontinuumát kifejezetten „gravitációs éter”-ként jelöli meg.

14. Maga Lorentz az általános relativitáselméletét megismerve elveti korábbi próbálkozásait, s elfogadja Einstein gravitációelméletét.

15. W. Ritz, „Über die Rolle des Äthers in der Physik.” in.: uő.: *Theorien über Aether, Gravitation, Relativität und Elektrodynamik*. Bern and Badish-Reinholden: Schrit-Verlag, 1963. 23. o.

16. Einstein, *Äther und Relativitätstheorie*. Berlin: Springer, 1920.

17. Uo.



Brooklyn Bridge, 1914