

## Az optikai rotációs effektusról és filozófiai következményeiről

ELEK TIBOR

A relativitáselméletet ismertető irodalomban elterjedt az az állítás, hogy a kísérleti tapasztalatok egyértelműen Einstein elméletét igazolják. Szögezzük le mindenekelőtt, hogy ez az állítás nem magától Einsteintől származik. Tudományos önéletrajzában megfogalmazza „ismeretelméleti hitvallását”, és ebben kifejti, hogy a fizikai elméletek elbírálásában nem a kísérleti igazolás a döntő, hanem a „belső tökéletesség”: a premisszák és dedukciók logikai egyszerűsége és szépsége.<sup>1</sup> Nem tulajdonít különösebb jelentőséget a speciális relativitáselmélet kísérleti igazolásának sem. Még azt is elismeri, hogy a Michelson—Morley-kísérlet semmivel sem igazolja jobban saját koncepcióját, mint Lorentz kontrakciós hipotézisét, a két elmélet között csak a „belső tökéletesség” szempontjából tesz különbséget.<sup>2</sup> Einstein tehát világosan látta, hogy ez a kísérlet közvetlenül csak a mozgó rudak és órák tényleges viselkedésére ad felvilágosítást, az alábbi hipotéziseket azonban közvetlenül nem igazolja:

- éter nem létezik, vagyis a fénynek nincs anyagi hordozója,
- a fény minden inerciarendszerben egyenlő sebességgel és izotróp módon terjed,
- a fénysebességnek ezt az állandóságát a mezőmentes téridő-kontinuum abszolút invarianciája okozza.

Ezeket a hipotéziseket Einstein csak intuitív, pszichológiai összefüggésbe hozza a tapasztalattal, és valóban nincs is közöttük másféle kapcsolat.

Az az állítás, hogy a kísérletek logikai egyértelműséggel Einstein álláspontját *bizonyítják*, nem tőle, hanem interpretálótól származik, és nem is felel meg a valóságnak.

Mindenekelőtt az első hipotézis esetében szükséges a kísérleti tényekkel szembesíteni Einstein koncepcióját: igaz-e, hogy az elektromágneses jelenségek nem egy anyagi objektum, hanem az anyagtól elkülönült üres tér állapotváltozásai?

A Michelson—Morley-kísérlet és más kísérletek annyit valóban bizonyítottak, hogy optikai-elektrodinamikai eljárásokkal nem lehet kimutatni valamely fizikai objektumnak, pl. egy merev testnek az éterhez viszonyított *transzlációs* mozgását. A merev testek általános mechanikai mozgása azonban mindig transzlációs és rotációs mozgásokból tevődik össze.<sup>3</sup> Ezért az éter kimutathatatlanságáról szóló állításokat csak abban az esetben lehetne elfo-

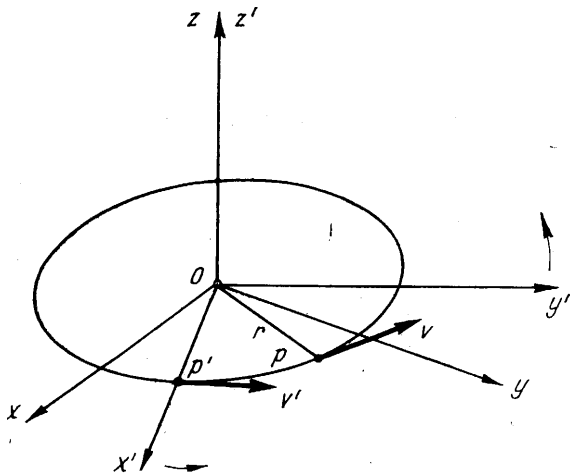
<sup>1</sup> A. Einstein: „Autobiographisches”. L. P. A. Schilpp: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1955, 8—9. o.

<sup>2</sup> A. Einstein: A speciális és általános relativitás elmélete. Gondolat, 1963, 60. o.

<sup>3</sup> Budó Á.: Mechanika. Tankönyvkiadó, 1964, 196—198. o.

gadni, ha a fizikai objektumoknak az éterhez viszonyított *forgómozgása* is kimutathatatlanul bizonyulna. A kísérletek azonban éppen az ellenkezőjét bizonyítják: az ún. optikai rotációs kísérletekkel sikerült kimutatni forgó testeknek, a többi között magának a Földnek is, az éterhez viszonyított rotációs mozgását.

Mielőtt azonban megvizsgáljuk ezeket a kísérleteket, egy általánosabb elvi kérdést kell tisztáznunk: viszonyítanunk kell-e egyáltalán valamihez a forgó mozgást, helyes-e az az állítás, hogy a forgó test kerületi és szögsebessége éppen úgy különböző lesz a különböző koordinátarendszerekre vonatkoztatva, mint a translációs mozgást végző test lineáris sebessége? A kérdés felvetése mesterkéltnek tűnik, de mégis szükség van rá: egyes szerzők ugyanis azon az alapon tagadják az éterhez viszonyított forgó mozgás kimutathatóságát, hogy általában sem ismerik el a forgó mozgás relatív jellegét.



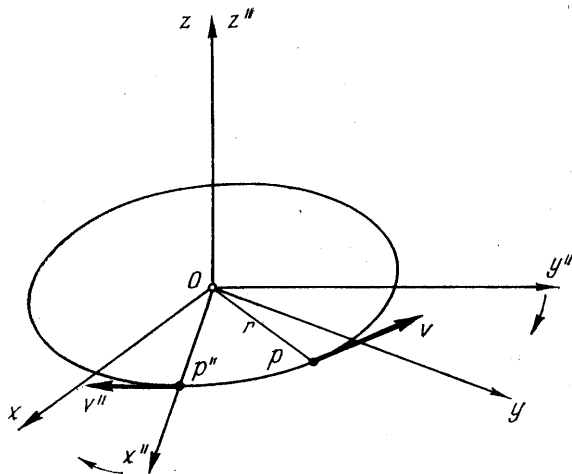
1. ábra

Egyes vitacikkekben olyasmiket olvashatunk, hogy az éterhez viszonyított rotációs mozgásról azért nem lehet beszélni, mert *a forgás az inerciarendszerek bármelyikéhez viszonyított mozgást jelenti*, és mert az inerciarendszerek a forgás szempontjából is egyenértékűek. Ha tehát megmérjük egy forgó test „valamihez” viszonyított szögsebességét, akkor ez a „valami” az inerciarendszerek bármelyikével azonosítható.<sup>4</sup>

Ez az állítás nyilvánvalóan téves. A mechanikai mozgás egyetlen fajáról, még az egyenesvonalú egyenletes mozgásról sem lehet olyat állítani, hogy kizárólag az inerciarendszerekre vonatkoztatható. Minden mechanikai mozgás viszonyítható bármely koordinátarendszerhez, és ezek a viszonyítások annál adekvátabb leírást adnak, minél lényegesebb szerepet játszik a vonatkoztatási rendszer által reprezentált objektum hatása az adott mozgás lefolyásában. Az inerciarendszerek egyenértékűségének semmi köze sincsen ahhoz a kérdéshez, hogy *mihez viszonyítva mozog a forgó test*.

Vegyünk pl. egy vízszintes síkban forgó korongot, és legyen *P* a korong kerületének tetszőleges pontja (l. az 1–2. ábrát).

<sup>4</sup> L. Valóság 5, 53(1965) és 6, 80(1965).



2. ábra

A  $P$  pont  $v$  kerületi sebességét és a korong  $\omega$  szögsebességét ebben az esetben többnyire ahhoz a  $K(x, y, z)$  koordináta-rendszerhez viszonyítjuk, amely a korong közvetlen környezetéhez képest nyugalomban van, vagyis a Föld koordináta-rendszeréhez. (Az ábrán egyszerűség kedvéért a korong függőleges forgási tengelyét választottuk  $z$  tengelynek.) Ha  $r$  a korong sugara, akkor tudvalevően

$$v = r\omega. \quad (1)$$

A  $v$  kerületi sebesség és az  $\omega$  szögsebesség értéke ugyanannyi marad abban az esetben is, ha a korong mozgását nem ehhez a  $K$ -rendszerhez, hanem egy olyan  $K^*$ -koordináta-rendszerhez viszonyítjuk, amely a  $K$ -hoz képest egyenesvonalú egyenletes mozgást végez tetszőleges nagyságú és irányú  $v^*$  sebességgel. A  $P$  pont pályája ebben a  $K^*$ -rendszerben persze nem körvonal, hanem általában csavarvonal lesz, ez azonban lineáris sebességének a forgási síkkal párhuzamos  $v$  összetevőjén és a forgás  $\omega$  szögsebességén mit sem változtat.

Vajon az elmondottak azt jelentik-e, hogy a forgást valóban „általában a tehetetlenségi rendszerhez (inerciarendszerhez) viszonyított mozgásnak” és így a forgó  $P$  pont kerületi és szögsebességét abszolút jellegűnek, a vonatkoztatási rendszer mozgási állapotától függetlennek kell tekintenünk? Ilyen kijelentést csak akkor tehetnénk, ha a forgó test közvetlen környezetéhez képest nyugvó  $K$ -rendszert, vagyis az adott esetben a Föld koordináta-rendszerét inerciarendszernek minősíthetnénk. Ez azt jelentené, hogy a  $K$ -rendszert az egyenletes transláción kívül minden másfajta mozgástól eltiltjuk, ami természetesen nem áll módunkban, mert a fizikai objektumok (az adott esetben pl. a Föld és kozmikus környezete) között érvényesülő korábbi és jelenlegi kölcsönhatások akaratunktól függetlenül változó sebességű (az adott esetben többféle forgó és keringő) mozgásra kényszerítik.

Az inerciarendszert, mint ismeretes, az jellemzi, hogy benne semmiféle erőhatás nem érvényesül, nem lépnek fel tehát az ún. *tehetetlenségi erők* sem, és ezért az inerciarendszerben magára hagyott test egyenesvonalú egyenletes mozgást végez. A tehetetlenségi erők azonban minden más koordináta-

rendszerben fellépnek, és a magára hagyott testet változó sebességű, általában az egyenestől eltérő pályán lezajló mozgásra kényszerítik. Az *egyenletesen forgó* koordinátarendszerekben pl. kétféle tehetetlenségi erő lép fel. Az egyik a *centrifugális erő*, amely a testet a forgási sugár mentén távolítani akarja a forgási tengelytől, és akkor is fellép, ha a test a forgó rendszerhez képest nyugalomban van. A másik az ún. *Coriolis-féle erő*, amely csak akkor lép fel, ha a test a forgó rendszerhez képest mozog, hatása pedig abban nyilvánul meg, hogy a testet eltéríteni igyekszik a pályájától.<sup>5</sup>

Éppen a tehetetlenségi erők fellépése a Föld  $K$ -koordinátarendszerében szolgáltatja a Föld forgásának ismert dinamikai bizonyítékait. A centrifugális erő fellépését a Föld lapultsága és a nehézségi gyorsulásnak, ill. a testek súlyának a földrajzi szélességtől való függősége bizonyítja. A Coriolis-erő hatása mutatkozik meg a szabadon eső testeknek a függőleges iránytól kelet felé történő eltéréseiben, továbbá a vízszintes mozgást végző testek pályájának oldalirányú elhajlásában (az északi féltekén jobbra, a déli féltekén balra). Az *Eötvös*-féle hatás, a vízszintesen mozgó test súlyának megváltozása szintén a Coriolis-féle erővel függ össze. Ugyancsak a Coriolis-erő okozza a *Foucault*-féle ingakísérletekben jelentkező effektust: azt, hogy az inga lengési síkja a  $K$ -rendszerben az északi féltekén észak—kelet—déli irányban, a déli féltekén pedig ellenkező irányban forog.<sup>6</sup>

Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy a Föld  $K$ -koordinátarendszere nem inerciarendszer, és így a  $K$ -rendszerhez képest *forgó korong mozgása nem inerciarendszerhez viszonyított mozgás*. Igaz, hogy azokban a  $K^*$ -rendszerekben, amelyek  $K$ -hoz képest egyenes transzlációt végeznek, a forgó korongnak ugyanakkora marad a kerületi és a szögsebessége, de ezek éppoly kevésbé inerciarendszerek, mint maga a  $K$ -rendszer. A forgó korong kerületi és szögsebességének invarianciája kizárólag a koordinátarendszereknek erre az egyetlen halmazára vonatkozik. Minden más koordinátarendszerben más értékű lesz a forgó korong kerületi és szögsebessége.

Egyszerűség kedvéért vegyünk olyan  $K'$ -és  $K''$ -koordinátarendszert, amelyeknek  $z'$ , ill.  $z''$  tengelye azonos a korong forgási tengelyével, a  $z$  tengellyel, és  $x'y'$ , ill.  $x''y''$  síkjuk is azonos a korong forgási síkjával, az  $xy$ -síkkal. Forogjon a  $K'$ -rendszer a  $K$ -rendszerhez képest a  $z$  tengely körül a koronggal egyirányú  $\omega'$  szögsebességgel (l. az 1. ábrát), a  $K''$ -rendszer pedig ellenkező irányú  $\omega''$  szögsebességgel (l. a 2. ábrát). Legyen az  $x'$  tengelynek a korong kerületén levő pontja  $P'$ , az  $x''$  tengelyé pedig  $P''$ . A  $P'$  pont a  $K$ -rendszerhez képest  $v'$ , a  $P''$  pont pedig  $v''$  kerületi sebességgel szalad körbe a korong kerületén.

Ekkor fennáll:

$$v' = r\omega' \quad \text{és} \quad v'' = r\omega'' \quad (2)$$

Ha most a korong és a kerületén levő  $P$  pont mozgását nem a  $K$ -rendszerre, hanem  $K'$ -re vagy  $K''$ -re vonatkoztatjuk, akkor, mivel a  $P'$  pont utána szalad a  $P$  pontnak, a  $P''$  pont pedig az ellenkező irányban fut, a  $P$  pont kerületi sebessége a

$$v_{K'} = v - v', \quad \text{ill.} \quad v_{K''} = v + v'', \quad (3)$$

<sup>5</sup> Budó Á.: Id. mű 72—75. o.

<sup>6</sup> Uo. 106—111. o.

a forgó korong szögsebessége pedig az

$$\omega_{K'} = \omega - \omega', \text{ ill. } \omega_{K''} = \omega + \omega'' \quad (4)$$

értékeket veszi fel. Kör alakú pályán rendezett futóverseny esetén a futók egymáshoz viszonyított sebessége között ugyanilyen összefüggések állnak fenn. Ha  $K'$  és  $K''$  nem a koronggal azonos tengely körül forog, hanem általánosabb (transzlációs és rotációs) mozgást végez, akkor az összefüggések természetesen bonyolultabbak lesznek.

Azokban a koordinátarendszerekben, amelyek  $K'$ -höz, ill.  $K''$ -höz viszonyítva egyenletes egyenesvonalú mozgást végeznek, a forgó korong szögsebessége megint ugyanakkora lesz, mint  $K'$ -ben, ill.  $K''$ -ben. Az ilyen módon mozgó koordinátarendszerek azonban ismét nem inerciarendszerek, és az az állítás, hogy „a forgás általában a tehetetlenségi rendszerhez viszonyított mozgás”, ezekben az esetekben sem állja meg a helyét. Ha tehát a fizikából nem távolítjuk el a vonatkoztatási rendszer fogalmának materiális tartalmát, akkor a forgó mozgás éppen úgy csak konkrét mozgási állapottal rendelkező koordinátarendszerre vonatkoztatva értelmezhető, mint a transzlációs mozgás, és szögsebessége éppen úgy relatív jellegű, mint a transzlációs mozgás lineáris sebessége.

Nincsenek-e azonban az általunk megfigyelhető, konkrét mozgási állapottal rendelkező koordinátarendszerek között mégis inerciarendszerek, amelyekre a forgó mozgásokat kötelesek vagyunk vonatkoztatni, ha „igazi” szögsebességüket akarjuk ismerni?

Hogy a Föld  $K$ -koordinátarendszere nem inerciarendszer, azt már tisztáztuk. Legyen most a Föld forgástengelye a  $K$ -rendszer  $z$  tengelye, és az egyenlítő legyen a  $K$ -rendszer  $xy$  síkja. Hogyan határozhatjuk meg azt a  $K_a$  koordinátarendszert, amelyre a Föld 24 órás, azaz

$$\omega_a = \frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^{-1} \quad (5)$$

szögsebességű forgása vonatkozik? Ennek a  $K_a$  rendszernek nyilván nyugalomban kell lennie a Föld közvetlen kozmikus környezetéhez képest. A  $K_a$ -rendszer kezdőpontja azonos lehet a Föld középpontjával,  $z$  tengelye azonos lehet a Föld forgástengelyével,  $x$  tengelye pedig bármelyik állócsillag felé mutathat. Be lehet bizonyítani, hogy ez a  $K_a$ -rendszer nem inerciarendszer, ugyanis ebben a rendszerben a Nap és a Föld közös tömegközéppontja a gravitációs kölcsönhatás folytán gyorsuló, nem pedig egyenesvonalú egyenletes mozgást végez.<sup>7</sup>

Itt természetesen ismét megállapíthatjuk, hogy a  $K_a$ -rendszerhez képest egyenletes transzlációt folytató  $K^*$ -rendszerekben a Föld ugyancsak az (5) alatti  $\omega_a$  szögsebességgel forog, de ettől a Föld 24 órás forgása még mindig nem válik „inerciarendszerekhez viszonyított mozgássá”.

Első megközelítésben inerciarendszernek szokták venni azt a  $K_b$ -rendszert, amelynek kezdőpontja a Nap és a Föld közös tömegközéppontja (azaz közelítőleg a Nap középpontja),  $xy$  síkja ennek a két testből álló rendszernek az ún. invariábilis síkja (a földpálya síkja), az  $x$  tengely pedig valamelyik

<sup>7</sup> Uo. 172–173. o.

állócsillag felé mutat. Jobb megközelítését adja az inerciarendszernek az a  $K_c$ -rendszer, amelynek kezdőpontja az egész Naprendszer tömegközéppontjával,  $xy$  síkja pedig az egész Naprendszer invariábilis síkjával azonos (Kopernikusz koordinátarendszere). Hangsúlyozni kell azonban, hogy ez a megközelítés is csak annyiban fogadható el, amennyiben eltekinthetünk a Naprendszer és a többi kozmikus rendszer kölcsönhatásaitól.<sup>8</sup>

Semmi olyanfajta kijelentés nem tekinthető tehát megalapozottnak, amely a Föld kozmikus környezetében különböző mozgási állapotokat képviselő  $K_a$ -,  $K_b$ -,  $K_c$ - és egyéb koordinátarendszerek, valamint a hozzájuk képest egyenesvonalú egyenletes mozgást végző  $K_a^*$ -,  $K_b^*$ -,  $K_c^*$ -, ... koordinátarendszerek halmazai közül kizárólag az egyiket, az inerciarendszer fogalmát legjobban megközelítő rendszerek halmazát ragadja ki, és a Föld forgását, valamint e forgás szögsebességét kizárólag e kiragadott halmaz koordinátarendszereire hajlandó vonatkoztatni.

Hogyan járhatunk el ezek után, ha egy forgó testnek, pl. az 1–2. ábrákon feltüntetett  $r$  sugarú forgó korongnak a mozgását arra a  $K_0$ -koordinátarendszerre akarjuk vonatkoztatni, amely az éterhez, a fény feltételezett anyagi hordozójához képest nyugalomban van, amelyben tehát a fény izotróp módon és  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm sec<sup>-1</sup> sebességgel terjed? Egyszerűség kedvéért a  $K_0$ -rendszer kezdőpontját és  $z$  tengelyét azonosnak vehetjük a korong középpontjával, ill. forgástengelyével. A következő eljárás mindenestre célravezetőnek mutatkozik: tükröket helyezünk el a korong kerületének érintőin, pl. egy  $n$ -oldalú szabályos sokszög csúcspontjaiban, és a sokszög egyik csúcspontjából, a  $P$  pontból kiinduló fényjelet a tükrök segítségével arra kényszerítjük, hogy körbejárja a sokszög kerületét. Ha a tükröket igen sűrűn helyezzük el, körbenfogó fényjelet kapunk, amelynek a  $K_0$ -rendszerben a kerületi sebessége  $c$ , és így a korong kerületét

$$t_0 = \frac{2r\pi}{c} \quad (6)$$

idő alatt futja be, feltéve, hogy a korong a  $K_0$ -rendszerben nyugalomban van. Ebben az esetben a  $t_0$  körülfutási idő független attól, hogy a fényjel milyen irányban kering a korong kerületén.

Ha azonban a korong a  $K_0$ -rendszerhez képest  $\omega$  szögsebességgel, vagyis  $v = r\omega$  kerületi sebességgel forog, akkor a fényjel körülfutási ideje megváltozik, és a körülfutási iránytól is függővé válik. Ha a fényjel körülfutási iránya megegyezik a korong forgásának irányával (pozitív irány), akkor a fényjel később ér vissza abba a  $P$  pontba, amelyből kiindult, mert a  $P$  pont szökik a fényjel elől. Ellenkező körülfutási irány (negatív irány) esetén viszont a fényjel hamarabb ér vissza a kiindulópontba, mert a  $P$  pont szembe fut vele.

Jelöljük az első esetben a  $P$  pontba való visszaérkezés idejét  $t^+$ , a második esetben pedig  $t^-$  jellel. Ekkor az első esetben a fényjelnek a  $K_0$ -rendszerben  $vt^+$  értékkel nagyobb, a második esetben pedig  $vt^-$  értékkel kisebb utat kell megtennie a kör kerületénél (annál az úthossznál, amelyet a korong koordinátarendszerében, a  $K_k$ -rendszerben tesz meg):

$$ct^+ = 2r\pi + vt^+, \quad (7)$$

$$ct^- = 2r\pi - vt^-. \quad (8)$$

<sup>8</sup> Uo. 173. o.

Innen:

$$t^+ = \frac{2r\pi}{c - v} = \frac{2r\pi}{c - r\omega} \quad (9)$$

és

$$t^- = \frac{2r\pi}{c + v} = \frac{2r\pi}{c + r\omega} \quad (10)$$

A  $K_k$ -rendszerben tehát a fény anizotróp módon terjed: a pozitív irányban keringő fényjel ( $c - v$ ), a negatív irányban keringő fényjel pedig ( $c + v$ ) sebességgel futja be a korong kerületét.

Ha a pozitív és a negatív irányba egyszerre indítunk útnak egy-egy fényjelet, akkor visszaérkezésük időkülönbsége:

$$\Delta t = t^+ - t^- \approx \frac{4S\omega}{c^2}, \quad (11)$$

ahol  $S = r^2\pi$  a bármelyik fényjel által körülfutott terület. Bebizonyítható, hogy a (11) képlet általános érvényű, vagyis abban az esetben is fennáll, ha a két fényjel nem a forgó korong területét, hanem azon belül egy kisebb  $S$  területet fut körül.

A két fényjel között a visszaérkezésig létrejövő útkülönbség a  $K_0$ -rendszerben:

$$\Delta s = c \cdot \Delta t = \frac{4S\omega}{c}, \quad (12)$$

az a fáziskülönbség pedig, amelyet az effektus során keletkező interferenciaképeknek ki kell mutatnia:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{4S\omega}{c\lambda}, \quad (13)$$

ahol  $\lambda$  a kísérletben használt fénysugár hullámhossza. Ezt a képletet *M. Laue* is közli relativitáselméleti könyvében,<sup>9</sup> anélkül azonban, hogy rámutatna: ez az eredmény a (7–10) összefüggések következménye, vagyis olyan összefüggéseké, amelyek a fényterjedés anizotrópiáját írják le a  $K_0$ -rendszerhez képest  $\omega$  szögsebességgel forgó  $K_k$ -rendszerben.

Az optikai rotációs effektus kísérleti kimutatásának tervét első ízben *A. A. Michelson* publikálta 1904-ben „*A Föld és az éter viszonylagos mozgása*” c. cikkében.<sup>10</sup> Itt egyértelműen úgy foglalt állást, hogy amennyiben a végrehajtandó kísérletek igazolják a fenti számítások eredményeit, ez egyben bizonyítékát nyújtja az éter létezésének és a fény anizotróp terjedésének az éterhez képest forgó koordinátarendszerekben.

Még mielőtt magát a kísérletet végrehajtották volna, *M. Laue* 1911-ben vitába szállt Michelson fenti következtetéseivel.<sup>11</sup> Azt állította, hogy a végrehajtandó kísérlet sem teszi majd lehetővé a döntést a fénysebesség állandóságát és izotrópiáját posztuláló einsteini relativitáselmélet, valamint az éter

<sup>9</sup> M. Laue: Die Relativitätstheorie. I. Bd. Vieweg Verlag, Braunschweig 1961, 16. o.

<sup>10</sup> Philosophical Magazine 48, 716(1904).

<sup>11</sup> M. Laue: Über einen Versuch zur Optik bewegten Körper. Münch. Sitz-Ber. 405 (1911).

létezését és a fényterjedésnek az éterhez képest mozgó koordinátarendszerekben fennálló anizotrópiáját tételező Lorentz-féle felfogás között. Állítását a következő gondolatmenettel igyekezett alátámasztani:

A Michelson által javasolt kísérlet nem fogja megcáfolni a fénysebesség állandóságának elvét. A fény ugyanis a forgó  $K_k$ -rendszerben is  $c$  sebességgel terjed, és a pozitív irányban keringő fényjelnek csak *geometriai okokból* lesz hosszabb, a negatív irányban keringő fényjelnek pedig ugyancsak csupán *geometriai okokból* lesz rövidebb a körülfutási ideje, mint az álló korongon körülfutó fényjelnek. Ez a geometriai ok: a  $P$  kiindulási pont  $vt^+$  nagyságú elfutása a pozitív irányú fényjel elől és  $vt^-$  nagyságú szembefutása a negatív irányú fényjellel. Mivel Laue nem körön, hanem  $n$ -oldalú sokszögon körül futó fényjelekkel számol, nála a (7–8) képletek így alakulnak:

$$ct^+ = 2nr \sin \left( \frac{\pi}{n} + \frac{\omega t^+}{2n} \right) \quad (14)$$

és

$$ct^- = 2nr \sin \left( \frac{\pi}{n} - \frac{\omega t^-}{2n} \right). \quad (15)$$

Ha  $n$  elég nagy, akkor visszakapjuk a (7–8) képleteket.

A (14–15) képletek azonban ebben a formájukban is azt árulják el, hogy Laue gondolatmenete téves volt. A képletek bal oldalán szereplő  $c$  sebesség itt éppen úgy a  $K_0$ - és nem a  $K_k$ -rendszerre vonatkozik, mint a (7–8) képletekben. Az a körülmény, hogy a (14–15) képletek jobb oldalán is szerepel a  $t^+$ , ill. a  $t^-$  körülfutási idő, itt is éppen úgy a  $K_k$ -rendszerbeli fényterjedés anizotrópiáját jelenti, mint a (7–8) képletekben. A Laue által pusztán *geometriai* okokra visszavezetett (11–13) összefüggések kísérleti igazolása *fizikailag* tehát éppen a  $K_k$ -rendszerbeli anizotróp fényterjedés és az éterhez viszonyított forgómozgás kimutatásával egyértelmű.

A kísérletet *M. G. Sagnac* az 1910-es évek elején többször is elvégezte, és a (11–13) képleteknek megfelelő optikai rotációs effektust valóban megkapta.<sup>12</sup> A két, ellenkező irányban keringő fényjelet a Michelson–Morley-kísérlethez hasonlóan félig áteresztő tükrön áthatoló és róla visszavert fény-sugarak segítségével állította elő, majd mind a kettőt a korong kerületén elhelyezett tükrökkel egy és ugyanazon fényképező lemezre irányította, ahol megkapta a várt interferenciaképet és a korong forgásakor az interferenciacsíkok a számításoknak megfelelő mértékben tolódtak el.<sup>13</sup>

Ez a kísérlet tehát bebizonyította, hogy azon különböző mozgási állapotú koordinátarendszerek közül, amelyek kezdőpontja és  $z$  tengelye egybeesik egy forgó korong középpontjával, ill. forgástengelyével, csak egyetlen olyan  $K_0$ -rendszer van, amelyben a fény  $c$  sebességgel és izotróp módon terjed. A forgó korong  $\omega$  szögsebessége ehhez a  $K_0$ -rendszerhez képest kimutatható. Ez az  $\omega$  szögsebesség persze ugyanakkora marad azokban a  $K_0^*$ -rendszerekben is, amelyek  $K_0$ -hoz képest egyenesvonalú egyenletes mozgást végeznek, *a fény sebessége azonban nem marad bennük ugyanakkora, mint  $K_0$ -ban.* Ha pl. a  $K_0^*$ -rendszerek halmazából azt a rendszert ragadjuk ki, amelynek  $K_0$ -hoz

<sup>12</sup> M. G. Sagnac: Effet tourbillonnaire optique. Journal de Physique IV., 177 (1914).

<sup>13</sup> A kísérlet leírását lásd M. Laue: Die Relativitätstheorie, id. kiad. 15–16. o. L. még Jánossy L.—Elek T.: A relativitáselmélet filozófiai problémái c. könyvében, Akadémiai Kiadó, 1963, 164–165. o.

viszonyított translációs sebessége a  $z$  tengelyre merőleges és azonos nagyságú a korong  $K_0$ -hoz viszonyított  $v = r\omega$  kerületi sebességével, akkor benne a (9–10) képletekhez fűzött megjegyzés szerint a sebességével egy irányban terjedő fényjelnek ( $c - v$ ), az ellenkező irányban terjedő fényjelnek pedig ( $c + v$ ) lesz a sebessége. A forgó korong kerületén körbefutó fényjelek ugyanis egy igen rövid időköz tartamára egyenes vonal mentén terjedő fényjeleknek tekinthetők. Az  $\omega$  szögsebesség állandósága a  $K_0^*$ -rendszerekben nem jelenti tehát egyben azt is, hogy bennük a fénysebesség is állandó, vagyis nem jelenti az einsteini értelemben vett ekvivalenciájukat.

Maga Sagnac így vonta le az általa elvégzett kísérletekből a szükséges következtetést: „Ellentétben azzal, ami a Föld által magával vitt rendszer translációjával kapcsolatos másodrendű effektusokat vizsgáló híres Michelson-kísérletben történt, egy rendszer mesterséges forgatásakor jelentkező optikai rotációs effektus minden meglepő kiegyenlítődés nélkül az éterhez viszonyított mozgás elsőrendű effektusaként nyilvánul meg.”<sup>14</sup>

A rotációs kísérletet Sagnackal kb. egyidőben *F. Harress* is elvégezte — azzal a módosítással, hogy egy üvegprizmából álló gyűrű belsejében futtatta a fénysugarakat. Az optikai rotációs effektust ő is kielégítő pontossággal észlelte.<sup>15</sup>

A Sagnac—Harress-féle kísérleteket 1925–26-ban Jénában a Zeiss-gyár laboratóriumában Pogány Béla, a budapesti Műegyetem professzora is megismételte, és sokkal nagyobb pontosságot ért el.<sup>16</sup> Ugyanebben az időben *A. A. Michelson* és *H. G. Gale* az amerikai Clearingben (Illinois állam) elvégezte azt a kísérletet, amelynek tervét Michelson már 1904-ben kidolgozta, és amelylyel magának a Földnek a saját tengelye körül végzett forgását mutatták ki az éterhez viszonyítva, lényegében ugyancsak a Sagnac-féle optikai rotációs effektus felhasználásával. Az eredmény nagy pontossággal megegyezett az elméleti számításokkal.<sup>17</sup>

Megjegyzendő, hogy a Michelson—Gale-kísérletben a (11–13) képletekben az  $\omega$  szögsebesség értéke ez lesz:

$$\omega = \Omega \cdot \sin \Phi, \quad (16)$$

ahol  $\Omega$  a Földnek az éterhez viszonyított szögsebessége,  $\Phi$  pedig az észlelési hely földrajzi szélessége. (Az elvégzett kísérletben  $\Phi = 42^\circ$  volt.) Az  $\Omega$  szögsebesség ugyanis a Földtengely irányába mutató vektorral ábrázolható, a kísérletben viszont ennek a vektornak csak a kísérlet helyén húzott függőleges vonal irányába eső komponense érvényesülhetett.

Ezek a kísérletek kétségtelenül ellentmondtak az einsteini elméletnek. Mint láttuk, *M. Laue* már a kísérletek elvégzése előtt, 1911-ben sikertelenül igyekezett kimutatni az optikai rotációs effektus összeegyeztethetőségét a fénysebesség állandóságának posztulátumával. Ugyanerre a kérdésre a Harress-kísérlet kapcsán 1920-ban ismét visszatért.<sup>18</sup> Megállapította, hogy Sagnac és Harress mérései kétségtelenül bebizonyították: a Földhöz képest forgó vonat-

<sup>14</sup> L. M. G. Sagnac id. cikkében, 194–195. o.

<sup>15</sup> F. Harress: Diss. Jena, 1912.

<sup>16</sup> Annalen der Physik 80, 217 (1926) és 85, 244 (1928), továbbá: Die Naturwissenschaften 8, 177 (1927).

<sup>17</sup> Astrophysical Journal 3, 137 (1925).

<sup>18</sup> Annalen der Physik 62, 448 (1920).

koztatási rendszerben nemcsak a mechanikai, hanem az optikai folyamatok is másképpen játszódnak le, mint a Földhöz rögzített rendszerben. Ugyanakkor azonban azt is megjegyezte, hogy Sagnacnak azt a véleményét, miszerint ezek a kísérletek az éter létezését bizonyítják, nem kell kényszerítő erejűnek tekinteni.

Visszaulva fent idézett 1911-es cikkére, *M. Laue* itt ismét azt állította, hogy a kísérletben az interferenciacsíkok eltolódását pusztán geometriai okok idézik elő. Láttuk azonban azt is, hogy ez a kijelentés egyértelmű annak az elismerésével, hogy a fényterjedés csak az éter koordináta-rendszerében izotróp, tehát mégiscsak ellentmondásban van Einstein elméletével.

A relativitáselméletéről írott könyvében *M. Laue* a Sagnac—Harress—Michelson-kísérleteket „A speciális relativitáselmélet tapasztalati alapjai” c. fejezetben tárgyalja, de itt már említést sem tesz az anizotrópiára utaló (14—15) képletekről és a fenti ellentmondásról. *Laue* álláspontját a relativitáselméletről írt összefoglaló munkájában *W. Pauli* is átvette, vagyis ő is olyasmit állít (mégpedig bizonyítás nélkül), mintha ezek a kísérletek teljes összhangban lennének Einstein elméletével.<sup>19</sup>

Hogy itt valójában gyökeres ellentmondásról van szó, azt azonban mégis többen felismerték, így pl. *Sz. I. Vavilov* is, aki 1928-ban könyvet írt a relativitáselmélet kísérleti alapjairól. Könyvében a Michelson—Gale-kísérletről a többi között a következőket írta:<sup>20</sup>

„Ilyen módon újból kimutatható effektus áll előttünk, amely önmagában elképesztő pontossággal támasztja alá a Föld napi körforgása során állva maradó, magával nem ragadott éterről szóló feltételezést. Másfelől: a másodrendű (transzlációs — E. T.) kísérletek zérus-eredménye (az effektus kimutathatatlansága — E. T.) azt a feltevést vonja maga után, hogy éves mozgása során a Föld teljes mértékben magával ragadja az étert... Általában véve: helyesebb lett volna a relativitáselméletet oly módon kifejteni, hogy kísérleti alapjait se ellenségesen, se egyetértően ne viszonyítsák az éterhipotézishez.”

Vavilov gondolataihoz a következőket kell hozzáfűzni: ha egy fizikai jelenség (adott esetben a Föld mozgása az éterhez képest) ellentmondásosnak bizonyul, ez nem azt jelenti, hogy létezésében és megismerhetőségében kételkednünk kell. Éppen ellenkezőleg: mivel ellentmondásmentes jelenségek nem léteznek, az ellentmondásosság feltárása minden jelenség megismerésének elengedhetetlen követelménye. A transzlációs és rotációs optikai effektusok ellentmondó eredményeiből véleményem szerint azt a következtetést kell levonnunk, hogy meg kell keresni: milyen kompenzáló hatás teszi észlelhetetlenné a transzláció esetében azt a jelenséget, amely a rotáció esetében világosan kimutatható: az éterhez viszonyított mozgást, illetve a fényterjedés anizotrópiáját az éterhez képest mozgó rendszerben.

Mint ismeretes, *H. A. Lorentz* ezt a kompenzáló hatást a felgyorsított anyagi rendszer deformációjában jelölte meg. Már 1895-ben publikált egy könyvet a mozgó testekben fellépő elektromos és optikai jelenségekről, s ebben külön fejezet foglalkozott a Michelson—Morley-kísérlet értelmezésével.<sup>21</sup> Itt kifejtette, hogy a kísérlet negatív eredményét a földmozgás irányába eső inter-

<sup>19</sup> *W. Pauli: Relativitätstheorie. Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften Bd V., Heft IV., Art. 19. (1921). Teubner Verlag, Leipzig, 565. o.*

<sup>20</sup> *С. И. Вавилов: Экспериментальные основания теории относительности. Гос. Изд. М.—Л. 1928, 74—88. о.*

<sup>21</sup> *Magyar Fizikai Folyóirat III., 341—344 (1955).*

ferométerkar  $\sqrt{1 - v^2/c^2} : 1$  arányú kontrakciójának hipotézisével teljesen meg lehet magyarázni.

„Bármennyire is idegennek tűnik az első pillanatra ez a hipotézis, el kell ismerni, hogy eléggé kézenfekvő, mihelyt feltesszük, hogy az elektromos és mágneses erőkhöz hasonlóan a molekuláris erőket is az éter közvetíti. Ha ez fennáll, akkor a transláció a két molekula vagy atom közötti hatást, igen valószínűleg hasonló módon változtatja meg, mint a töltött részecskék közötti vonzást vagy taszítást. Minthogy egy szilárd test alakját és méreteit végső fokon a molekuláris hatások intenzitása szabja meg, így a méretek megváltozása sem maradhat el.”

A kérdésre általánosabb formában tért vissza 1904-ben abban a tanulmányában, amely a fénysebességnél kisebb, tetszőleges sebességgel mozgó rendszerben fellépő elektromágneses jelenségekkel foglalkozott.<sup>22</sup> Itt az előbbi feltevés alapján kimutatta, hogy valamely rendszer felgyorsítás előtti és felgyorsítás utáni (deformálódott) állapota között olyan összefüggés áll fenn, hogy a második állapotban a rendszer elektromos és mágneses paramétereit a transzformált hely- és időkoordináták ugyanazon függvényei írják le, mint az első állapotban.

A relativitáselmélet első összefoglaló kézikönyveit kidolgozó *M. Laue* és *W. Pauli* ismételten egyaránt úgy foglalt állást, hogy Einstein eredményei mellett is *szükség van a relativisztikus effektusok dinamikus-atomisztikus magyarázatára*. *W. Pauli* 1921-ben hangsúlyozta, hogy egy felgyorsított rúd kontrakciója amely a Lorentz-csoporttal szemben kovariáns strukturális törvények hatására megy végbe, nagyon bonyolult folyamat.<sup>23</sup>

*M. Laue* szintén leszögezte, hogy egy test belső erői a sebességtől függő változásokat szenvednek el. „A gyorsítás a test változatlan alakja esetén a belső egyensúlyt megzavarja, a Lorentz-kontrakció viszont újra helyreállítja.”<sup>24</sup>

A felgyorsított anyagi rendszer deformációjának objektív szükség-szerűségét *V. A. Fok* is kiemelte a gyorsulás és a gravitáció közötti ekvivalencia einsteini tételének bírálata kapcsán — hangsúlyozva, hogy a *gyorsuló mozgást végző laboratórium* általános fogalmát azért nem lehet bevezetni, mert ebben az esetben nem alkalmazható a merev test modellje, hiszen „minden test, amikor felgyorsul, rugalmas tulajdonságaitól függő deformációkat szenved”.<sup>25</sup>

Nem kétséges, hogy *W. Pauli*, *M. Laue* és *V. A. Fok* ebben a kérdésben Einsteinnel ellentétesen foglalt állást. Einstein ugyanis posztulátumként mondja ki a következő elvet: egy rúd „nyugalmi hosszúsága”, vagyis a vele együtt mozgó koordináta-rendszerben mért hosszúsága független a rúdnak egy másik koordináta-rendszerhez viszonyított sebességétől. Ha tehát egy *K*-koordináta-rendszerben az *x* tengelyen fekvő *OA* rúd először nyugalomban van (l. a 3. ábrát), azután saját irányában *v* sebességre felgyorsul, vagyis az *O'A'* állapotba kerül, akkor *K'*-vel jelölve a vele együtt mozgó koordináta-rendszert:

$$(OA)_{K'} = (O'A')_{K'} = a. \quad (17)$$

<sup>22</sup> Uo. 191—209.

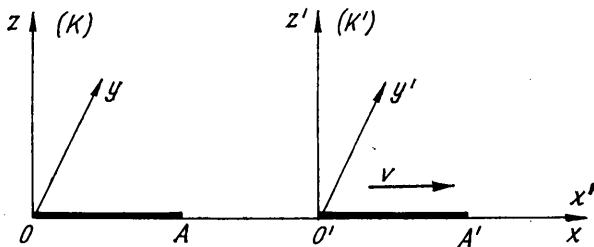
<sup>23</sup> L. W. Pauli id. munkájában, 560. o.

<sup>24</sup> L. M. Laue: Die Relativitätstheorie. I. Bd. Id. kiad., 38—39. o.

<sup>25</sup> V. A. Fok: A relativitás és az ekvivalencia elve Einstein gravitációelméletében. Fizikai Szemle 1, 15 (1964).

(Az indexek arra a koordináta-rendszerre utalnak, amelyben a hossz-mérés történik.)

A felgyorsított  $O'A'$  rúd „mozgó hosszúságát” Einstein úgy definiálja, mint ugyanezen állapotnak a  $K$ -rendszerből mért hosszúságát, amelyet a  $K$ -beli megfigyelő a következőképpen mérhet meg: megállapítja, hogy egy adott  $t$  időpontban a  $K$ -rendszer, mely pontjaival van fedésben a mérendő mozgó rúd kezdő- és végpontja és leméri saját mérőrudjával e két pont távolságát.



3. ábra

A (17) képlet azt írja elő, hogy az  $O'A'$  rúd nyugalmi ( $K'$ -beli) hossza legyen egyenlő az  $OA$  rúd nyugalmi ( $K$ -beli) hosszával. Ez most azzal a posztulátummal egészül ki, hogy az  $O'A'$  rúd nyugalmi ( $K'$ -beli) hosszának különböznie kell az  $O'A'$  rúd mozgási ( $K$ -beli) hosszától:<sup>26</sup>

$$a' = (O'A')_K \neq (O'A')_{K'}. \quad (18)$$

Ezekben a megállapításokban a következő két gondolat van elrejtve:

1. Ha egy rúd két különböző —  $OA$  és  $O'A'$  — állapotában azonos mérőszámokkal rendelkezik az ezen állapotokhoz képest nyugalomban levő, tehát ugyancsak két különböző mozgási állapotú koordináta-rendszerben, akkor a hosszúsága objektíve is változatlan marad.

2. Ha egy rúd egyugyanazon  $O'A'$  állapotában különböző mérőszámokkal rendelkezik a hozzá képest nyugvó, ill.  $v$  sebességgel mozgó koordináta-rendszerben, akkor ez azt jelenti, hogy objektíve is kétféle hosszúsága van. (Pontosabban: végtelen sokféle hosszúsága van a  $v$  különböző értékei szerint.)

Ezek azonban spekulatív elgondolások. Ugyanis:

ad 1. Azonos mérőszámok — ha a két mértékegység különbözik egymástól — különböző hosszúságokat takarhatnak. Ha pl. a  $K$ -t  $K'$ -be átvivő gyorsítás a mérendő rudat és a mérőrudat ugyanabban az arányban deformálja, akkor éppen ez az eset következik be.

ad 2. Különböző mérőszámok — ha a két mértékegység is különbözik egymástól — azonos hosszúságokat takarhatnak. Pl. a felgyorsított rúd hosszának más lesz a mértékszáma az eredeti ( $K$ -beli) mérőrudakkal, mint a felgyorsított és a felgyorsítás következtében deformálódott ( $K'$ -beli) mérőruddal mérve, anélkül, hogy ez objektíve is kétféle hosszúságot jelentene.

A relativisztikus hosszcsökkenés képlete a Lorentz-transzformáció einsteini értelmezése szerint így írható fel:

$$a' = a \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (19)$$

<sup>26</sup> A. Einstein: A mozgó testek elektrodinamikájáról. L. Magyar Fizikai Folyóirat III. 444—445 (1955).

vagyis (17) és (18) alapján:

$$(O'A')_K = (OA)_K \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (20)$$

és egyben:

$$(O'A')_K = (O'A')_{K'} \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (21)$$

Lorentz álláspontja szerint viszont így formulázhatók meg a relativisztikus hosszcsökkenés képletei:

$$a = (OA)_K \neq (O'A')_{K'}, \quad (22)$$

továbbá:

$$a' = (O'A')_K = (O'A')_{K'}, \quad (23)$$

és mivel most is fennáll:

$$a' = a \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (24)$$

azért:

$$(O'A')_K = (OA)_K \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (25)$$

és egyben:

$$(O'A')_{K'} = (OA)_K \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (26)$$

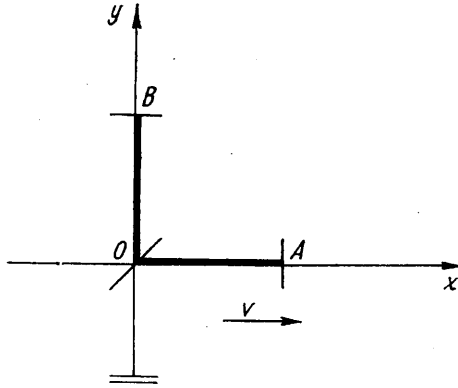
Mint látható, a relativisztikus hosszcsökkenés *mértékét* leíró (19) és (24), valamint (20) és (25) képletek mind a két koncepcióban azonosak egymással, a hosszcsökkenés *lényegére* utaló (17) és (22), (18) és (23), (21) és (26) képletek azonban kölcsönösen ellentmondanak egymásnak. Amikor W. Pauli, M. Laue és V. A. Fok azt tartja természetesnek, ami valóban természetes, hogy ti. a gyorsítás deformálja a rúd atomi struktúráját, akkor *ebben a kérdésben* akarva-akaratlanul Einsteinnel ellentétesen és Lorentzcel azonosan foglalnak állást. A két felfogás *együttes* elfogadása azonban mindenképpen logikai képtelenség.

Lorentz felfogásában a 3. ábra  $K$ -koordinátarendszere az étert (a  $K_0$ -rendszert) reprezentálja. Jánossy Lajos azonban kimutatta, hogy a (25–26) összefüggések általános érvényűek, tehát bennük a *K tetszőleges Lorentz-rendszert jelenthet* (vagyis olyan koordinátarendszert, amely  $K_0$ -hoz képest translációs mozgást végez, és amelyben az órák szinkronizálását és a távolságok mérését tükrökről visszavert fényjelekkel végeztük),  $K'$  pedig a  $K$ -hoz képest  $OA$  irányban  $v$  sebességre felgyorsított rúd koordinátarendszerét jelenti.<sup>27</sup> A Jánossy Lajos által megfogalmazott Lorentz-elv terminológiájában magának a rúd-nak a felgyorsítás utáni  $O'A'$  állapota nevezhető a felgyorsítás előtti  $OA$  állapot Lorentz-transzformáltjának. Ehhez azonban még hozzá kell tenni egy korlátozó elvet, mert a Lorentz-transzformáció csak abban az esetben viszi át az  $OA$  rudat egy valóságos  $O'A'$  állapotba, ha a gyorsító hatás *adiabatikus* jellegű, tehát az  $OA$  rúd állapotában drasztikus deformációt, pl. törést nem okoz.

Indokolt-e azonban a Michelson–Morley-kísérlet kapcsán *gyorsító hatásokról* beszélni? Michelson és Morley, mint ismeretes, azt akarta eldönteni, hogy van-e a Földnek az éterhez viszonyítva *transzlációs* sebessége. Evégből olyan interferométert készítettek (felülnézetben l. a 4. ábrán), amelynek  $OA$  karja párhuzamos volt a Föld  $v$  keringési sebességével,  $OB$  karja pedig merőleges volt rá. Az  $O$  pontban elhelyezett félig áteresztő tükörrre fénysugarat bocsátottak, innen a kettévált fénysugár az  $OA$  és az  $OB$  kar irányában

<sup>27</sup> Jánossy L.—Elek T.: Id. mű 125. o.

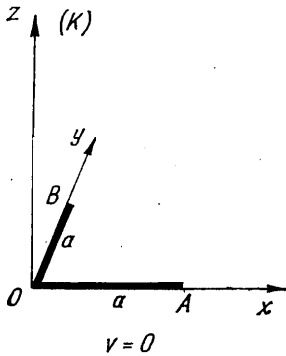
haladt tovább, majd az  $A$  és a  $B$  tükörről visszaverődve mindkettő visszajutott  $O$ -ba, ahonnan a félig áteresztő tükör mindkettőt az ábra alján feltüntetett fényképező lemezre irányította. Az  $OAO$  és  $OBO$  úton haladó fénysugarak közt a Föld mozgása miatt időkülönbségnek, és ezért, ha az  $OA$  és az



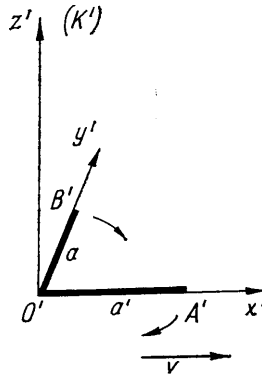
4. ábra

$OB$  kar hosszában változás nincs, fáziskülönbségnek kell keletkeznie, vagyis a fényképezőlemezen interferenciaképnek kell létrejönnie, és az egész berendezés  $90^\circ$ -os elforgatásakor a képnek meg kell változnia. Az eredmény azonban negatív volt: optikai kísérletekkel nem lehetett megállapítani a Földnek az éterhez viszonyított transzlációs mozgási állapotát.

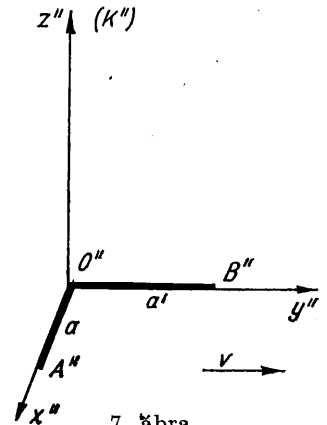
Vizsgáljuk meg: milyen koordináta-rendszerek és koordináta-transzformációk játszhatnak szerepet e kísérlet kapcsán? A Föld  $v$  sebességét egy olyan  $K_0$ -koordináta-rendszerre — az éter koordináta-rendszerére — vonatkoztatva akarjuk kimutatni, amelyben a fény  $c$  sebességgel terjed. Első közelítésben ilyennek tekinthetjük a Naprendszer tömegközéppontjához rögzített  $K^*$ -koordináta-rendszert és azt a  $\bar{K}$ -koordináta-rendszert is (1. az 5. ábrát), amely-



5. ábra



6. ábra



7. ábra

nek kezdőpontja az interferométer  $O$  pontja,  $x$  és  $y$  tengelye az  $OA$ , ill. az  $OB$  kar pillanatnyi időre felvett irányba mutat, és amely  $K^*$ -hoz képest nyugalomban van.

Ennek a  $K$ -rendszernek tehát a  $K^*$ -hoz viszonyított sebessége zérus, azaz:

$$v_x = v_y = v_z = 0. \quad (27)$$

Vegyük a  $K$ -rendszerre vonatkoztatva a két interferométerkart egyenlő hosszúnak:

$$(OA)_K = (OB)_K = a. \quad (28)$$

Ezt a  $K$ -rendszert persze a Földön végzett kísérletekben nem tudjuk megfoghatóvá tenni, mert a Föld keringési sebességét nem tudjuk „kikapcsolni”. A  $K$ -rendszert tehát csak elméletileg tudjuk előállítani, realitásához azonban nem férhet kétség.

A kísérletben számunkra először az a  $K'$ -rendszer ragadható meg, amely együtt mozog a Földdel (l. a 6. ábrát), amelynek tehát a  $K^*$ -hoz viszonyított sebessége  $v$ , pontosabban:

$$v_{x'} = v; \quad v_{y'} = v_{z'} = 0. \quad (29)$$

Ez a  $K'$ -rendszer úgy fogható fel, mint amely az  $x$  tengely irányába mutató lineáris gyorsítás hatására  $K$ -ból keletkezett, úgy hogy a  $K^*$ -hoz viszonyított sebessége 0-ról  $v$ -re növekedett. Ez a gyorsítás a  $v$  sebességre merőleges interferométerkart nem deformálhatja, és ezért:

$$(O'B')_{K'} = (OB)_K = a. \quad (30)$$

Annak ellenére tehát, hogy a  $K^*$ -hoz képest nyugalomban levő  $K$ -rendszert nem tudjuk megragadni, abban biztosak lehetünk, hogy a Föld keringési sebességére merőleges interferométerkar a Föld  $K'$ -koordinátarendszerében is ugyanolyan hosszú, mint a  $K$ -rendszerben. A keringési sebességgel párhuzamos interferométerkar hosszáról ezt már nem mondhatjuk el, mert ebben a  $K$ -hoz viszonyítva  $v_x = 0$ -ról  $v_{x'} = v \approx 30$  km/sec nagyságrendű sebességig történő gyorsításnak már deformációt kellett okoznia. Ahhoz, hogy az  $O'A'$  interferométerkar  $K$  rendszerbeli hosszát is megkapjuk, a  $K'$ -rendszert ismét el kell forgatni — pozitív vagy negatív irányban —  $90^\circ$ -kal. (L. a 7. ábrát, ahol az elforgatás szöge:  $\varphi = -90^\circ$ .) Ennek a  $K''$ -rendszernek a  $K$ -hoz viszonyított sebességére ez áll:

$$v_{x''} = v_{z''} = 0, \quad v_{y''} = v. \quad (31)$$

Most tehát elforgatás közben az  $O'A'$  interferométerkar hosszirányú sebességét  $K$ -hoz viszonyítva  $v_{x'} = v$ -ről  $v_{x''} = 0$ -ra csökkentettük, az  $O'B'$  interferométerkar hosszirányú sebességét pedig  $v_{y'} = 0$ -ról  $v_{y''} = v$ -re növeltük. Ez a lassítás, ill. gyorsítás mindkét kar hosszában deformációt okozhatott, természetesen ellenkező előjellel. Ha a  $K$ -ról  $K'$ -re való átmenet (0-ról  $v$ -re történő gyorsítás) egy bizonyos deformációt okoz az  $OA$  kar állapotában, akkor biztos, hogy a  $K'$ -ről  $K''$ -re való átmenet ( $v$ -ről 0-ra történő lassítás) visszaállítja az eredeti állapotot, azaz:

$$(O''A'')_{K''} = (OA)_K = a. \quad (32)$$

Ugyanakkor ez az utóbbi átmenet az  $OB = O'B'$  kar állapotában okoz (a 0-ról  $v$ -re történő gyorsítás következtében) ugyanolyan mérvű deformációt, mint amilyet az első átmenet az  $OA$  kar állapotában okozott.

A  $K$ -ről  $K'$ -re való átmenetet, amely egyszerű lineáris gyorsítást jelent, matematikailag a

$$K' = L_1(K) \quad (33)$$

szimbólummal jellemezhető Lorentz-transzformáció írja le, a  $K'$ -ről  $K''$ -re történő átmenetet, tehát egy  $90^\circ$ -os elforgatás révén létesített gyorsítást pedig a

$$K'' = L_2(K') \quad (34)$$

Lorentz-transzformáció. Kimutatható, hogy a Lorentz-transzformációk ún. csoporttulajdonsága következtében a  $K$ -ről  $K''$ -re történő közvetlen átmenetet is egy Lorentz-transzformáció írja le:

$$K'' = L_2(K') = L_2[L_1(K)] = L_3(K). \quad (35)$$

Magában a Michelson—Morley-kísérletben, mint mondtuk, a  $K$ -rendszer nem ragadható meg, és ezért a (33) és (35) alatti Lorentz-transzformáció által leírt átmeneteket csak gondolatban realizálhatjuk, de gyakorlatilag nem valósíthatjuk meg. Erre kizárólag a (34) alatti Lorentz-transzformáció esetében van lehetőségünk, és ezért ezt a derékszögű elforgatást kell a kísérlet *lényegének* tekintenünk. Ezzel a derékszögű elforgatással tudjuk az interferométerkarok hosszirányú sebességét a meg nem ragadható  $K$  rendszerhez képest 0-ról  $v$ -re növelni, ill.  $v$ -ről 0-ra csökkenteni, és megmérni is ezzel a derékszögű elforgatással tudjuk mindkét interferométerkar hosszúságát a  $K$ -rendszerhez viszonyítva. ( $K'$ -ben is és  $K''$ -ben is a  $v$ -re merőleges interferométerkar adja meg ezt a  $K$ -beli hosszúságot.) Továbbá: ezzel a derékszögű elforgatással tudunk a kísérlet negatív eredményéből (az optikai transzlációs effektus elmaradásából) a gyorsítás okozta deformáció nagyságára következtetni.

Mindezt azért kell hangsúlyozni, mert Einstein a Michelson—Morley-kísérlet értelmezésében kizárólag a (33) alatti Lorentz-transzformációt, tehát a kísérletben ténylegesen *végre nem hajtott, csak elgondolt* átmenetet veszi figyelembe. Szükségesnek tartja a következő megjegyzést: „*Lényeges, hogy ennél a meggondolásnál a mérőrudak viselkedése független mozgásuk előtörténetétől.*”<sup>28</sup>

A Lorentz-transzformáció einsteini értelmezésén belül tehát fel sem szabad tenni azt a kérdést, hogy a  $K'$  rendszer hogyan tett szert a  $K$  rendszerhez viszonyított  $v$  sebességére, csak az a lényeges, hogy *van* ilyen sebessége.

Természetesen nem véletlen, hogy Einstein mellékes dolognak minősíti a  $v$  sebesség „előtörténetét”: ha ugyanis elfogadná a gyorsítás *tényét*, akkor ellentmondásba jutna az inerciarendszer minden gyorsító erőhatást kizáró fogalmával. A tények azonban makacs dolgok, és gyorsító hatások igénybevétele nélkül csak *gondolati* kísérletek „elvégzését” teszik lehetővé. A Michelson—Morley-kísérletben éppen az interferométerkarok  $90^\circ$ -os elforgatása szolgáltatja sebességük és deformációjuk előtörténetét.

<sup>28</sup> A. Einstein: Grundzüge der Relativitätstheorie, Vieweg Verlag, Braunschweig 1956, 24. o.

Az előbbi  $K$ -rendszer, amelyben a fény  $c$  sebességgel terjed, és amelyet az előbbi meggondolásokban közelítőleg a Naprendszer tömegközéppontjához rögzített  $K^*$ -rendszerhez képest nyugvó rendszerként vezettünk be, a Michelson—Morley-kísérlet Lorentz-féle értelmezésében az interferométernek az éterhez (a  $K_0$ -rendszerhez) képest nyugvó állapotát reprezentálja. Az  $OAO$  és  $OBO$  fényutak megtételéhez szükséges idő a  $K$ -rendszerben:

$$(\Delta t)_{OA} = (\Delta t)_{AO} = \frac{a}{c}, \quad (\Delta t)_{OAO} = \frac{2a}{c}, \quad (36)$$

$$(\Delta t)_{OB} = (\Delta t)_{BO} = \frac{a}{c}, \quad (\Delta t)_{OBO} = \frac{2a}{c}, \quad (37)$$

vagyis a két fényút időkülönbsége:

$$(\Delta t)_{OAO} - (\Delta t)_{OBO} = 0. \quad (38)$$

Itt meg kell jegyezni, hogy a  $K$ -rendszerben a kísérlet során persze nem tudunk valóságos méréseket és megfigyeléseket végrehajtani, és ezért a (36–38) képletek csak elméleti meggondolásokkal támaszthatók alá. A valóságos megfigyelések a  $K'$ - és  $K''$ -rendszerekben történnek. A  $K'$ -rendszerben a (26) képlet szerint:

$$(\Delta t')_{OA} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c - v}, \quad (\Delta t')_{AO} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c + v}, \quad (39)$$

tehát:

$$(\Delta t')_{OAO} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c - v} + \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c + v} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (40)$$

Továbbá, mivel a  $v$ -re merőleges irányban  $\sqrt{c^2 - v^2}$  a  $K'$ -beli fénysebesség értéke:

$$(\Delta t')_{OB} = (\Delta t')_{BO} = \frac{a}{\sqrt{c^2 - v^2}}, \quad (41)$$

tehát:

$$(\Delta t')_{OBO} = \frac{2a}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (42)$$

és a két fényút időkülönbsége:

$$(\Delta t')_{OAO} - (\Delta t')_{OBO} = 0. \quad (43)$$

A  $K''$ -rendszerben ugyanígy:

$$(\Delta t'')_{OA} = (\Delta t'')_{AO} = \frac{a}{\sqrt{c^2 - v^2}}, \quad (44)$$

tehát:

$$(\Delta t'')_{OAO} = \frac{2a}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (45)$$

Továbbá:

$$(\Delta t'')_{OB} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c - v}, \quad (\Delta t'')_{BO} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{c + v}, \quad (46)$$

tehát éppen úgy, mint a (40) képletben:

$$(\Delta t'')_{OBO} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (47)$$

és a két fényút időkülönbsége most is:

$$(\Delta t'')_{OAO} - (\Delta t'')_{OBO} = 0. \quad (48)$$

A (39–48) képletek tehát megmagyarázzák a Michelson–Morley-kísérlet negatív eredményét, az interferenciakép elmaradását, vagyis azt, hogy miből származik a fénysebesség látszólagos invarianciája a  $K$ -, a  $K'$ - és a  $K''$ -rendszerben: *a Lorentz-kontrakció kompenzálja a fényterjedés anizotrópiáját.*

Arról, hogy a  $v$  sebességre merőleges interferométerkar mindkét mérésnél ugyanakkora a Föld koordinátarendszerében, hogy tehát  $(O'B')_{K'} = (O'A')_{K'} = a$ , a kísérlet végrehajtásakor *közvetlenül* meggyőződhetünk. Ebből a (39–48) képletek alapján *logikailag* következtethetünk arra, hogy a  $v$  sebességgel párhuzamos interferométerkar mindkét mérésnél  $(O'A')_{K'} = (O'B')_{K'} = a \sqrt{1 - v^2/c^2}$  hosszúságúnak bizonyul a Föld koordinátarendszerében.

Hogyan értelmezhető azonban a Michelson–Morley-kísérlet negatív eredménye Einstein koncepciója alapján? Láttuk már, hogy ez a koncepció nem abból a kísérletben valóban realizált állapotváltozásból indul ki, amelyet a (34) képlet ír le, hanem a (33) képletben leírt és csak gondolatban realizálható koordináta-transzformációból. A  $K$ -rendszer itt nem az éterhez, hanem a Naprendszer tömegközéppontjához képest nyugalomban levő koordinátarendszert jelenti, amelybe persze most sem tudunk megfigyelőket áthelyezni, hogy ott valóságos hossz- és időméréseket végezzenek. Ebben az esetben tehát csak *intuitív, pszichológiai* alapon tehetjük magunkévá Einsteinnek azt az állítását (l. a (17) képletet), hogy

$$(O'A')_{K'} = (OA)_{K'} = a. \quad (49)$$

De éppen ennek az állításnak az elfogadása (vagyis a gyorsítás okozta deformáció tagadása) jelenti a kiindulópontját a Michelson–Morley-kísérlet einsteini értelmezésének.

Az einsteini értelmezés szerint az  $OAO$  és az  $OBO$  fényút következő 3–3 elemi eseménye között kell kiszámítani a tér- és időközöket:

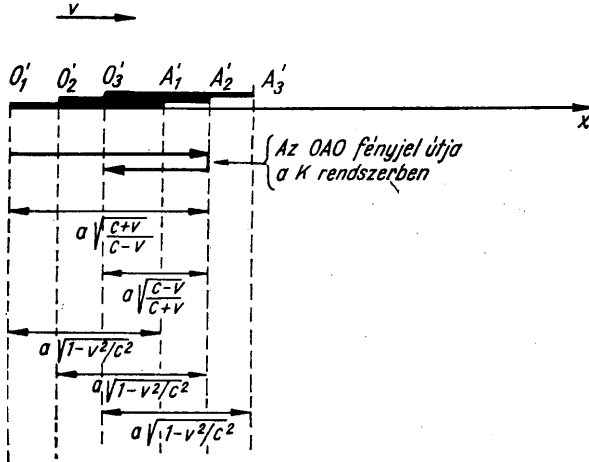
- az  $OAO$  út 1. eseménye: a fényjel kiindul az  $O$  pontból,  
 2. eseménye: a fényjel az  $A$  tükörrre érkezik,  
 3. eseménye: a fényjel  $A$ -ról visszaérkezik az  $O$  pontba.

Mivel Einstein posztulátuma szerint a fény minden koordinátarendszerben  $c$  sebességgel terjed, azért e 3 esemény koordinátái a Föld koordinátarendszerében, vagyis a  $K'$ -rendszerben:

$$\left. \begin{array}{l} 1. \text{ esemény: } (0, 0, 0, 0), \\ 2. \text{ esemény: } \left(a, 0, 0, \frac{a}{c}\right), \\ 3. \text{ esemény: } \left(0, 0, 0, \frac{2a}{c}\right). \end{array} \right\} \quad (50)$$

A Lorentz-transzformáció formuláival kiszámítható, hogy ugyanezen események koordinátái a Naprendszer tömegközéppontjához képest nyugalomban levő  $K$  koordinátarendszerben:

$$\begin{aligned} 1. \text{ esemény: } & (0, 0, 0, 0) \\ 2. \text{ esemény: } & \left( a \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}, 0, 0, \frac{a}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \right) \\ 3. \text{ esemény: } & \left( \frac{2av/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, 0, 0, \frac{2a/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right) \end{aligned} \quad (51)$$



8. ábra

A  $K$ -rendszerhez képest  $v$  sebességgel mozgó  $O'A'$  interferométerkar 3 helyzetét e 3 esemény időpontjában a 8. ábrán  $O_1'A_1'$ ,  $O_2'A_2'$  és  $O_3'A_3'$  jelöli. A  $K'$ -beli  $O'A'$  fényútnak a  $K$ -rendszerben az  $O_1'A_2'$  fényút felel meg, az  $A'O'$  fényútnak pedig  $A_2'O_3'$ , mert első esetben az  $A'$  pont az  $A_1'A_2'$  távolsággal elfut a fényjel elől, a második esetben pedig az  $O'$  pont az  $O_2'O_3'$  távolsággal elébe fut a visszavert fényjelnek. A  $K$ -rendszerben megtett fényutak tehát az (51) képletek alapján:

$$OA \text{ irányban } O_1'A_2' = |x_2 - x_1| = a \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}, \quad (52)$$

$$AO \text{ irányban } A_2'O_3' = |x_3 - x_2| = a \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}. \quad (53)$$

A megfelelő időközök pedig:

$$(\Delta t)_{OA} = |t_2 - t_1| = \frac{a}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad (54)$$

és

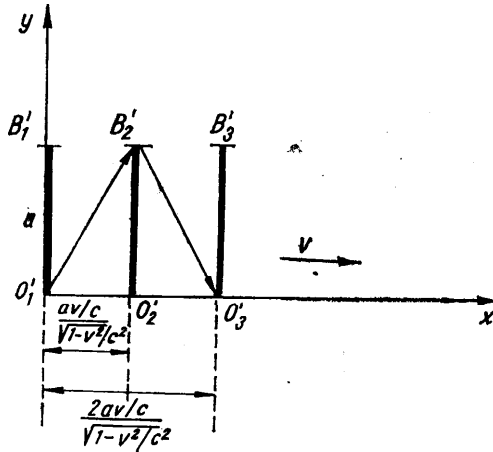
$$(\Delta t)_{AO} = |t_3 - t_2| = \frac{a}{c} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}. \quad (55)$$

A teljes  $OAO$  fényút ideje eszerint a  $K$ -rendszerben:

$$(\Delta t)_{OAO} = |t_3 - t_1| = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (56)$$

Hasonlóképpen az  $OBO$  fényutat is 3. elemi eseményre lehet bontani:

1. esemény: a fényjel kiindul az  $O$  pontból,
2. esemény: a fényjel megérkezik a  $B$  tükörre,
3. esemény: a fényjel visszaérkezik az  $O$  pontba.



9. ábra

E 3 esemény koordinátái a  $K'$  rendszerben:

$$\left. \begin{aligned} 1. \text{ esemény: } & (0, 0, 0, 0) \\ 2. \text{ esemény: } & \left( 0, a, 0, \frac{a}{c} \right), \\ 3. \text{ esemény: } & \left( 0, 0, 0, \frac{2a}{c} \right). \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

Transzformált koordinátáik a  $K$ -rendszerben:

$$\left. \begin{aligned} 1. \text{ esemény: } & (0, 0, 0, 0) \\ 2. \text{ esemény: } & \left( \frac{av/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, a, 0, \frac{a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \\ 3. \text{ esemény: } & \left( \frac{2av/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, 0, 0, \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

Innen a  $K$ -rendszerben megtett fényutak (l. a 9. ábrát):

$$OB \text{ irányban: } O_1B_2 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \frac{a}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (59)$$

$$BO \text{ irányban: } B_2'O_3 = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2} = \frac{a}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (60)$$

A megfelelő időközök:

$$(\Delta t)_{OB} = |t_2 - t_1| = \frac{a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (61)$$

és

$$(\Delta t)_{BO} = |t_3 - t_2| = \frac{a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (62)$$

A teljes  $OBO$  fényút ideje pedig a  $K$ -rendszerben:

$$(\Delta t')_{OBO} = |t_3 - t_1| = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (63)$$

Az (50) és (57), valamint az (56) és (63) képletek összehasonlításával most is megkapjuk, hogy mind a  $K'$ , mind a  $K$ -rendszerben:

$$(\Delta t')_{OAO} - (\Delta t')_{OBO} = \frac{2a}{c} - \frac{2a}{c} = 0 \quad (64)$$

és

$$(\Delta t)_{OAO} - (\Delta t)_{OBO} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - \frac{2a/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 0. \quad (65)$$

Az interferenciakép elmaradása tehát Einstein interpretációjával is értelmezhető.

A két értelmezés *matematikai* azonossága a (40) és (56), valamint a (42) és (63) képletek összevetéséből nyilvánvaló. Miben különbözik azonban egymástól *fizikailag* a kétféle értelmezés? Először is — ahogyan láttuk — abban, hogy a fénysebesség  $c$  értéke az első értelmezésben csak az éter  $K_0$  koordináta-rendszerére és a hozzá képest nyugvó  $K$ -rendszerre vonatkozik, a második értelmezésben pedig mind a Naprendszer tömegközéppontjához képest nyugvó  $K$ -rendszerre, mind pedig a Föld  $K'$ -rendszerére, amely  $K$ -hoz képest  $v$  sebességgel mozog.

Másodszor pedig abban van a különbség, hogy a Lorentz-féle értelmezés az  $OA$  és az  $OB$  interferométerkar hosszmetérváltozását a kísérletben valóban végrehajtott gyorsítás okozta deformációkkal magyarázza, az Einstein-féle értelmezés viszont kizárja annak a lehetőségét, hogy a gyorsítás folytán ilyen deformáció bekövetkezhessen (l. a (49) képletet), és a hosszmetérváltozást kizárólag a vonatkoztatási rendszer megváltoztatásával hozza összefüggésbe.

Ha azonban H. A. Lorentz, M. Laue, W. Pauli és V. A. Fok fent ismertettett álláspontjával megegyezően elismerjük, hogy a gyorsítás valóban deformálja a test hosszmetéretét, akkor a (25–26) képletek szerint fennáll:

$$(O'A')_{K'} = (O'A')_K = a\sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (66)$$

\* Erre a kérdésre „A relativitáselmélet filozófiai problémái” c. könyvben téves választ adtam, amire Schück Tamás helyesen mutatott rá a Valóság 1965. évi 6. számában.

Ebben az esetben viszont az (54), (55), (61) és (62) képletek alapján a  $K'$ -rendszerben a fény sebességére a különböző irányokban most is a következő értékeket kapjuk:

$$c_{+x'} = \frac{O'_2 A'_2}{(\Delta t)_{OA}} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{\frac{a}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}} = c - v, \quad (67)$$

$$c_{-x'} = \frac{A'_3 O'_3}{(\Delta t)_{AO}} = \frac{a \sqrt{1 - v^2/c^2}}{\frac{a}{c} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}} = c + v, \quad (68)$$

$$c_{y'} = \frac{O'_2 B'_2}{(\Delta t)_{OB}} = \frac{a}{a/c} \sqrt{1 - v^2/c^2} = \sqrt{c^2 - v^2}. \quad (69)$$

A Lorentz-kontrakciót és a fényterjedés anizotrópiáját tehát akár elfogadni, akár elutasítani csak együttesen lehet, mert a Michelson—Morley-kísérlet tanúsága szerint bármelyik állítás *logikai* következménye a másiknak. W. Pauli, M. Laue és V. A. Fok álláspontja logikailag azért ellentmondásos, mert ezt a tényt nem ismerik fel. A Sagnac—Michelson—Gale-kísérlet, ahogyan láttuk, a fényterjedés anizotrópiáját igazolja, és ezért a két kísérlet a transzlációs mozgás során mindkét hatás egyidejű és egymást kompenzáló fellépésének *együttesen* szolgáltatja a bizonyítékát.

Itt még egy fontos összefüggésre kell rámutatni. A Michelson—Morley-kísérletben egymáshoz képest egyenletes transzlációt végző koordináta-rendszerek szerepelnek. Ahhoz, hogy megmérhessük akár a fénynek, akár bármilyen mozgó objektumnak az ezekhez a rendszerekhez viszonyított sebességét (mint az út és az idő hányadosát), rendelkezniünk kell a távolságok és az időtartamok megmérésére szolgáló mértékegységekkel és mérési eljárásokkal. Ehhez viszont minden koordináta-rendszerben szinkronizált órák rendszerét kell létrehozni. Einstein leírja, hogy az órák szinkronizálását és az órák közötti távolságok meghatározását fényjelek küldésével végezhajtuk el, de *ehhez a művelethez már eleve posztulálnunk kell a fénysebesség állandóságát és izotrópiáját ezekben a koordináta-rendszerekben*. Ha a szinkronizálást ennek a hipotézisnek az alapján végezzük, akkor eljárásunk és hipotézisünk helyességének az a próbája, hogy a művelet kiinduló „normál-órájául” mindig más és más órát választva is ellentmondásmentes szinkronizmust kell kapnunk.<sup>29</sup>

A fent elmondottakból azonban kiderül, hogy az órák szinkronizálásának ellentmondásmentessége korántsem egyértelmű bizonyítéka a fényterjedés izotrópiájának. A Sagnac-kísérlet ugyanis azt bizonyítja, hogy, ugyanezt a hipotézist véve alapul, az órák forgó koordináta-rendszerben fényjelek útján végrehajtott szinkronizálása ellentmondáshoz vezet. Ez ismét csak azt bizonyítja, hogy forgó rendszerben nem áll fenn a fényterjedés izotrópiája.

<sup>29</sup> Uo. 18—19. o.

A forgó rendszerhez viszonyított fénysebesség, amely a terjedés irányától is függ, a  $K_0$ -rendszerből elvonatkoztatva nem is értelmezhető.

Még egyszer hangsúlyozni kell azt is, hogy a relativitáselmélet transzlációs kísérleti bizonyítékai között egyetlenegy sincsen, amellyel kapcsolatban nem a berendezés valóságos gyorsítását kellene végrehajtani, és nem ugyanazon anyagi rendszer felgyorsítás előtti és felgyorsítás utáni állapotát kellene egymással összehasonlítani. Vannak olyan kísérletek, amelyekben a gyorsítás az adott rendszernek a (33) képlettel jellemzett transzlációs Lorentz-transzformáltját szolgáltatja — ilyenek pl. a felgyorsított elektronok tömegével vagy a mezonok élettartamával kapcsolatos mérések.<sup>30</sup> Vannak továbbá olyan kísérletek is, amelyekben a gyorsítás az adott rendszernek a (34) képlettel jellemzett, rotációval kombinált transzlációs Lorentz-transzformáltját szolgáltatja. Ilyen a Michelson—Morley-kísérlet és az ún. *Trouton—Noble*-kísérlet, amelyben egy rugalmas szádra felfüggesztett töltött kondenzátort kell  $90^\circ$ -kal elforgatni.<sup>31</sup>

A felgyorsítás okozta objektív deformációk elismerése a fentiek szerint materialista és kauzális magyarázatot tesz lehetővé a relativitáselmélet kísérleti tényanyagára. E magyarázatnak azonban az előző fejtegetések szerint szerves része annak az elismerése is, hogy a fénynek *van* anyagi hordozója: az éter, amely egyben a fizikai testek részecskéi között fellépő erőhatásokat is közvetíti. Az éterhez képest nyugalomban levő  $K_0$ -rendszer kitüntetettsége nem jelent semmiféle abszolút nyugalmat. Ennek a kitüntetettségnek az a lényege, hogy ebben és csak ebben a  $K_0$ -rendszerben terjed a fény és minden elektromágneses zavar izotróp módon,  $c$  sebességgel. Ennek az elismerése azonban éppen úgy nem „metafizika”, mint ahogyan nem metafizika a levegő kitüntetettségének az elismerése a hanghullámok  $334 \text{ msec}^{-1}$  terjedési sebességével kapcsolatban. Annál inkább kell metafizikának minősítenünk az einsteini koncepciót, amely ugyanazt a kísérleti tényanyagot úgy interpretálja, hogy a gyorsítás állapotváltoztató, kauzális hatását tagadja, és a fénysebesség állandóságát a mezőmentes téridő-kontinuum abszolút invarianciájából származtatja.

Az éter létezésének tagadása végső fokon az anyagtalan mozgás energetista koncepciójával azonos, amelyet a fentiek szerint a valóban elvégzett kísérletek nem erősítenek meg. H. A. Lorentz az éter fogalmát az elektromágneses hatásokat közvetítő *anyagi* objektum megjelölésére használta,<sup>32</sup> míg Einstein szerint e hatásokat az üres, anyagtalan tér közvetíti.

Mit jelentenek azonban a fizikában ezek a fogalmak: „hatás”, „a hatás tovaterjedése”, „a hatás közvetítője”? A hatás mindig egy  $A$  objektum állapotváltozásának egy másik,  $B$  objektum állapotváltozásában realizálódó következményét jelenti. A modern fizika kiküszöbölte az azonnali távolbhatás misztikus newtoni elképzelését, és kimutatta, hogy az  $A$  objektumról a  $B$  objektumra a hatás csak véges idő alatt juthat el, mégpedig egy harmadik,  $C$  objektum közvetítésével — oly módon, hogy az  $A$  objektum állapotváltozása folytonos közelhatással pontról pontra megváltoztatja a  $C$  objektum állapotát, mindaddig, amíg ezek az állapotváltozások el nem jutnak a  $B$  objektumig. Ez az általános mechanizmusa a hangterjedésnek, a hő, a fény,

<sup>30</sup> L. M. Laue: Die Relativitätstheorie I. Bd., id. kiadás 21. és 26—27. o.

<sup>31</sup> Uo. 25—26., 94—96. és 166—169. o. L. még Jánossy L.—Elek T.: Id. mű 173. o.

<sup>32</sup> H. A. Lorentz: „A Maxwell-elmélet továbbvitele. Elektromágneselmélet”. Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften Bd. V. id. kiadás 152—155. o.

az elektromágneses hatások terjedésének. Az *A* objektum a hatást gerjesztő (kibocsátó) forrás, *B* a hatást elszenvedő (elnyelő) felvevőkészülék, *C* a hatás közvetítője.

Itt nyilván háromféle mozgásjelenségről van szó, az *A*, *B* és *C* objektumok állapotváltozásairól, amelyek közt a kölcsönös feltételezettség viszonya áll fenn. A tanulmányozott filozófiai kérdés szempontjából azonban elsősorban nem az *A* és a *B* objektum állapotváltozásai, hanem a hatást közvetítő *C* objektum folyamatos tér- és időbeli állapotváltozásai bírnak jelentőséggel. Ezek a tér- és időbeli állapotváltozások tükröződnek vissza a hatás továbbterjedésének mint mozgásjelenségnek a fogalmában. Jelöljük ezt a mozgásjelenséget *D*-vel. A *C* és a *D* fogalom nyilván az alany—állítmány viszonyában vannak egymással: a *C* alany annak az *objektumnak* a megjelölésére szolgál, amelynek megváltozik az állapota, a *D* állítmány pedig magának a változásnak, a *változás lényegének* a megjelölésére. Az *anyag* és a *mozgás* az objektív valóságban persze elválaszthatatlan egymástól, de a *C* és a *D* fogalom mégis két különböző oldalt tükrözi vissza egyugyanazon jelenségnek: azt, ami változik és ennek a valaminek a megváltozását.

Amikor tehát Lorentz az étért az elektromágneses hatások közvetítőjének nevezi, ez teljes összhangban van a dialektikus materializmus szóhasználatával: a mozgásjelenség fogalmának és a mozgásjelenség anyagi hordozóját kifejező fogalomnak a megkülönböztetésével. A marxizmus—leninizmus klasszikusai mindig világosan különbséget tettek a két fogalom között.

Engels pl. a XVII—XVIII. század természettudományában érvényesülő metafizikus gondolkodásmód történelmi jogosultságát azzal magyarázta, hogy előbb tudni kellett valamely dologról, hogy micsoda, s csak azután figyelhették meg a rajta végbemenő változásokat.<sup>33</sup> Más helyen arról beszél, hogy a természettudományban az anyag különböző *tárgyi és mozgási formái* szolgáltatják a vizsgálódás kiindulópontjául szolgáló tényanyagot.<sup>34</sup> A külön „hőanyag” és az „elektromos folyadékok” mechanikus koncepcióját bírálva ismét hangsúlyozza, hogy éppen úgy, mint ahogyan a *hőről* kiderült, hogy a *molekulák mozgása*, az *elektromosságról* is azt kell kideríteni: *minek* a mozgása, „*mi* az elektromos mozgás tulajdonképpen anyagi szubsztrátuma”.<sup>35</sup>

Lenin a „Materializmus és empiriokriticismus”-ban *W. Ostwald* energetizmusát bírálva megismételte és továbbfejlesztette ezeket a gondolatokat. Ostwald arra a materialista tételre, hogy az energiának kell hogy legyen hordozója, így válaszolt: „Ugyan miért? Vajon okvetlenül alanyból és állítmányból kell állnia a természetnek?” Ezt a választ Bogdanov ésszerűnek, Lenin azonban merő szofizmának minősítette. Bebizonyította, hogy a mozgás anyagi hordozójának gondolatbeli kiküszöbölésével nem egy alany nélküli állítmánnyal (hordozó nélküli mozgással), hanem egy *eszmei* alany állítmányával találjuk szemben magunkat. Ez igen egyszerű idealizmust jelent a szolipszizmus esetében, amikor az *én érzetem* jelenti a mozgásoknak, változásoknak az eszmei alanyát, és *igen bonyolult idealizmust* jelent, „ha az eleven ember gondolatát, képzetét, érzetét holt absztrakcióval — senki gondolatával, senki képzetével, senki érzetével, általában vett gondolattal (az abszolút eszmével,

<sup>33</sup> Engels: Feuerbach és a klasszikus német filozófia felbomlása. Marx—Engels: Vál. műv. II. köt. Kossuth, 1963. 351. o.

<sup>34</sup> F. Engels: A természet dialektikája. NEM 20. köt. Pb. 1963. 346. o.

<sup>35</sup> Uo. 407—408. o.

az egyetemes akarattal stb.), az érzettel mint határozatlan 'elemmel', az egész fizikai természetet helyettesítő 'pszichikummal' stb. stb. pótolják". Fejté-  
getéseit azzal fejezi be, hogy az energetizmus a fizika váratlan, de a materializ-  
mussal egyáltalán nem ellentétes eredményeit arra használja, hogy tudomá-  
nányosan igazoltnak tüntesse fel az anyagi hordozó nélküli mozgás és végső  
fokon az anyagtól elszakított gondolkodás idealista koncepcióját.<sup>36</sup>

A dialektikus materializmus tehát egyetlen mozgásjelenség, egyetlen  
állapotváltozás értelmezésében sem mellőzheti azt az alapvető kérdést, hogy  
az *anyag* melyik tárgyi formájának, melyik dolognak, melyik szubsztrátum-  
nak az állapotváltozásáról van szó, vagyis röviden azt, hogy az adott mozgás-  
jelenségnek mi az anyagi hordozója.

Amikor tehát Lorentz az étert az elektromágneses hatások közvetítőjé-  
nek nevezi, ez a terminológia egy *anyagi* mozgásjelenségre és annak *anyagi*  
hordozójára utal, ami összhangban van a dialektikus materializmussal, hiszen  
a dialektikus materializmus a fénytsem foghatja el másként, mint egy őt  
hordozó anyagi objektum (az „éter”) elektromágneses állapotának hely és idő  
szerint periodikusan végbemenő változását. Az éter mechanikus materialista  
koncepcióját persze el kell vetni: az éter nyilván nem atomokból és molekulák-  
ból álló közeg, nem fizikai test, hanem fizikai mező, amelynek elektromágneses  
állapotváltozásai nem azonosak valamiféle mechanikai hullámzással. Ein-  
steinnek az a nézete azonban, hogy a fénynek nincs anyagi hordozója, hogy  
minden elektromágneses hatás csak az üres, „mezőmentes” tér fizikai funk-  
ciója, elfogadhatatlan, energetista jellegű álláspont. Itt az idealizmusnak  
pontosan arról az „igen bonyolult” válfajáról van szó, amelyről Lenin beszélt.

Vizsgáljuk meg végül: nem oldja-e meg a fény anyagi természetével  
kapcsolatos problémát. A. D. Alekszandrovnak az a kísérlete, hogy bevezesse  
egy „*univerzális közeg*”, az anyagi világ elektromágneses „*sugárzási háttérének*”  
a fogalmát. Ez a sugárzási háttér teremtené meg, elektromágneses jelváltá-  
sok útján, a fizikai objektumok közötti anyagi kapcsolatot, és meghatá-  
rozná a jelenségek közötti kölcsönhatások struktúráját.<sup>37</sup>

A. D. Alekszandrov azonban gondosan ügyel arra, hogy ezt az uni-  
verzális közeget, amelyben a testek mozognak, senki se azonosíthassa az éterrel.  
Hogyan tesz különbséget a sugárzási háttér és az éter fogalma között?

„Az éter csak olyan közeg, amely mozoghat ugyan, de mozdulatlanak  
is elképzelhető. A hullámok az éterben terjednek. A sugárzás viszont mozgó  
közeg, a sugárzás maguk a hullámok — s a mozdulatlan elektromágneses  
zavar egyszerű értelmetlenség. Nincs ezért semmi csodálatos abban, hogy a  
sugárzási háttérhez képest való sebesség fogalma értelmetlen — eltérően az  
éterhez képest való sebesség fogalmától.”<sup>38</sup>

Van tehát egy univerzális közegünk: a „sugárzási háttér”, amely magá-  
nak a „tisztá mozgásnak”, a hordozó nélküli állapotváltozásnak a fogalmát  
testesíti meg. A hullámok nem terjednek semmilyen másik közegben, nem  
szabad feltenni az engelsi kérdést: *mi* mozog, *mi* hullámszik? Alanyunk nincs,  
csak állítmányunk: maga a hullámzás az, ami hullámszik.

<sup>36</sup> Lenin: Materializmus és empiriokriticizmus. (Összes művei 18. köt. Kossuth,  
1964, 248—256.

<sup>37</sup> A. D. Alekszandrov: A relativitáselmélet filozófiai tartalma és jelentősége.  
Lásd „A modern természettudományok filozófiai problémái” c. kötetben, Akadémiai  
Kiadó, 1962, 144—145. o.

<sup>38</sup> Uo. 146. o.

Előbbi jelöléseinket használva: a  $D$  mozgásjelenségnek önmaga a hordozója, és nem egy  $C$  objektum. Az anyagi hordozó nélkül tételezett mozgás azonban ebben az esetben sem alany nélküli állítmányt jelent, hanem egy *eszmei* alany állítmányát, egy szellemi szubsztancia állapotváltozását. Ez az elképzelés azonos Einsteinnek azzal a gondolatával, hogy maga az üres, korpuszkula- és mezőmentes tér rendelkezik mező-tulajdonságokkal: bizonyos paraméterek periodikusan tovaterjedő állapotváltoztatásának képességével. A. D. Alekszandrov „sugárzási háttere” tehát az anyagi tartalmától nemcsak elvonatkoztatott, hanem gondolatban meg is fosztott közeget, a hullámzó üres teret jelenti.

Az ilyen módon elképzelt „sugárzási háttérhez” viszonyított sebesség fogalma valóban értelmetlen lenne, hiszen az anyagtalan üres tér nem rendelkezik semmiféle mechanikai mozgási állapottal, és nem reprezentálható semmiféle vonatkoztatási rendszerrel. A fizikai mezők azonban *anyagi* objektumok, anyagi forrásokkal rendelkeznek. Ennek következtében van saját koordinátarendszerük és saját mechanikai mozgási állapotuk. A Föld gravitációs mezeje együtt mozog a Földdel a Nap körül, a mozgó elemi részek mechanikai mozgásában a hozzájuk tartozó mezők is részt vesznek. Azt az állítást tehát, hogy az elektromágneses mezőnek nincs saját koordinátarendszere és saját mechanikai mozgási állapota, csak az fogadhatja el, aki nem ismeri el a „sugárzási háttér” anyagi forrását és anyagi jellegét.

Továbbá: ha a „sugárzási háttérhez” viszonyított sebesség fogalmát A. D. Alekszandrov értelmetlennek nyilvánítja, akkor külön magyarázatot igényel a benne terjedő elektromágneses perturbáció sebességének a fogalma, illetve a fénysebesség állandóságának a posztulátuma.

A. D. Alekszandrov azonban, amikor igazolni próbálja a fénysebesség állandóságának posztulátumát, amelyet objektív és alapvető törvénynek tekint, kikerüli a valóságos problémát. E posztulátum alátámasztására két érvet hoz fel. Egyik a *fénysebesség függetlensége a fényforrás mozgási állapotától*, ami már a Maxwell-elmélet egyik fontos megállapítása volt, és teljesen független Einstein megmondásaitól. A. D. Alekszandrov másik érve az *elektromágneses zavarfront terjedési sebességének függetlensége a közeg anyagi minőségétől*, amelyet szintén rendkívül lényeges törvénynek minősít. Ebben igaza is van, de a dolog lényegét tekintve ennek a törvénynek sincs köze Einstein megmondolásaihoz, illetve csak annyiban van, hogy az órák jelváltás útján történő szinkronizálását, amely a jel vételének *kezdeti* pillanatával függ össze, nem érinti a sugárforrás és a felvevő készülék között húzódó átlátszó közeg minősége.

A valóságos probléma azonban egészen más: a kérdés úgy van feltéve, hogy miként lehet értelmezni a *fénysebességnek a vonatkoztatási rendszer mozgási állapotától való függetlenségét*? A. D. Alekszandrov az előbbi két érv kifejtése után úgy tesz, mintha fejtegetései választ adnának erre a harmadik kérdés-feltevésre is: „Így tehát a sugárzás terjedési sebességének univerzális jelentősége van. E sebesség az útnak az időhöz való viszonyában fejeződik ki, s ezért az univerzális sebesség létezése azt jelenti, hogy univerzális kapcsolat áll fenn a térbeli távolságok és az időtartamok között.”<sup>39</sup>

Ezek után ezt az univerzális kapcsolatot a fényterjedés ismert matematikai formulájával írja le, amelynek kovariánsnak kell lennie a Lorentz-

<sup>39</sup> Uo. 147. o.

transzformációval szemben, vagyis ugyanilyen alakú formulába kell átmennie az egyik inerciarendszerről a másik inerciarendszerre való áttérés esetében:

$$\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} = c(t - t_0). \quad (70)$$

Hogy azonban itt logikai hibáról van szó, az nyilvánvaló: a fénysebességnek sem a fényforrás mozgási állapotától, sem a közeg anyagi minőségétől való függetlensége nem nyújt olyan premisszát, amelyből dedukálni lehetne a (70) alatti formulának a *koordinátatranszformációval* szembeni kovarianciáját, vagyis a fénysebességnek az inerciarendszer mozgási állapotától való függetlenségét.

Einstein, aki nagyon jól értett a logikához, ezt a kovarianciát soha, egyetlen művében sem minősítette tapasztalati tételek *konklúziójának*, hanem éppen ellenkezőleg: csak mint a tapasztalatból logikailag le nem származtatható, intuitíve megsejthető *posztulátumot* vezette be.

A. D. Alekszandrov „sugárzási háttére” csak akkor szolgáltatna valóban materiális alapot a Lorentz-transzformáció és a relativisztikus effektusok értelmezéséhez, ha a fenti logikai hiba kiküszöbölésével feltárná: ebben a sugárzási háttérben nem a fénysebesség állandóságának és a téridő abszolút invarianciájának az anyagi tartalomtól *elvonatkoztatott és megfosztott* hipotetikus törvényei, hanem a *konkrét* anyagi objektumok struktúrájában és kölcsönhatásaiban megmutatkozó *konkrét* elektromágneses kapcsolatok determinálják az egyes objektumok és az általuk reprezentált koordinátarendszerek *konkrét* tér- és időbeli viszonyait.

Sajnos azonban A. D. Alekszandrov elutasítja a relativisztikus effektusok determinisztikus magyarázatának igényét és világosan kijelenti: „... nem valamilyen különleges 'ható ok' — hanem a világ abszolút szerkezete alkotja az elmélet valódi alapját és tartalmát”.<sup>40</sup> Ezek után azt állítani, hogy ez az *abszolút téridőbeli szerkezet* úgy viszonylik magához a fizikai világhoz, mint a forma a tartalomhoz, nem mondható következetes megállapításnak.

A dialektikus materializmussal éppen az ilyen abszolút téridőbeli szerkezet posztulátuma van ellentétben, nem pedig a relativisztikus effektusok dinamikus magyarázata, a fény anyagi hordozójának, anizotróp terjedésének és annak az elismerése, hogy a fénysebesség látszólagos invarianciáját egymást kompenzáló hatások idézik elő. A relativitáselmélet kísérleti tényanyaga ezt a dialektikus materialista koncepciót igazolja.

## ОБ ОПТИЧЕСКОМ РОТАЦИОННОМ ЭФФЕКТЕ И ЕГО ФИЛОСОФСКИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ

Тибор Элек

Эксперимент Михельсона и Морлея наряду с другими экспериментами доказали, что оптико-электродинамическими приемами нельзя показать *трансляционного* движения какого-либо физического объекта, например, твердого тела относительно материального носителя света, эфира. Однако, общее механическое движение твердых тел всегда складывается из трансляционных и ротационных движений. Поэтому утверждения о необнаружимости эфира можно было бы принять только в том случае, если бы удалось доказать необнаружимость отнесенного к эфиру *ротационного* движения физических объектов.

<sup>40</sup> Уо. 159. о.

Однако опыты М. Г. Саньяка, Ф. Харреса, Б. Поганя, А. А. Михельсона и Х. Г. Гале доказывают именно обратное: с помощью так называемых оптических ротационных экспериментов удалось показать отнесенное к эфиру ротационное движение вращающихся тел и, между прочим, самой Земли. С помощью этих экспериментов выяснилось, что в тех системах координат, находящихся в различных состояниях движения, одна из осей которых совпадает с осью вращения данного вращающегося тела, имеется только одна такая система  $K_0$ , в которой свет распространяется изотропно со скоростью  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/сек. Отнесенная к этой системе  $K_0$  угловая скорость вращающегося тела может быть измерена. Угловая скорость вращающегося тела остается той же и в системах  $K_0^*$ , которые по отношению к  $K_0$  совершают прямолинейное равномерное движение, скорость же света в этих системах  $K_0^*$  не остается той же самой, что и в системе  $K_0$  и, конечно, не бывает изотропной. В системах же, совершающих *вращающееся* движение по отношению к  $K_0$ , ни скорость света, ни угловая скорость данного вращающегося тела не остается той же самой, что и в системе  $K_0$ .

С философской точки зрения эти эксперименты приводят к выводу, что ошибочно утверждение Эйнштейна, согласно которому, свет не имеет материального носителя, и всякое электромагнитное действие — физическая функция пустого, «свободного от полей пространства». В то же время указанные эксперименты подтверждают диалектико-материалистическую позицию, согласно которой, *свет является материальным явлением*: изменением электромагнитного состояния несущего его материального объекта, совершающимся периодически относительно места и времени.

Скорость света, действительно, независима от состояния движения *источника света*, но не независима от состояния движения *соотносимой системы*. В оптических трансляционных экспериментах потому не может быть показана анизотропия распространения света, что осуществленное в экспериментах ускорение деформирует ускоренную материальную систему, и эта деформация компенсирует анизотропию распространения света. Диалектико-материалистически инварианция скорости света (точно так же, как и всякая другая инварианция) может быть объяснена только совместным выступлением уравновешивающих друг друга воздействий. Признание деформации, причиненной ускорением, с логической необходимостью влечет за собой признание анизотропии распространения света. Опытный фактический материал подтверждает именно такое понимание.

## THE OPTICAL ROTARY EFFECT AND ITS PHILOSOPHICAL CONCLUSIONS

by T. Elek

The Michelson-Morley and other experiments have shown that optical-electrodynamic methods are inadequate for proving the *translatory* motion of a physical object in relation to the light-supporting medium, the ether. The general mechanical motion of a rigid body is however always composed of translatory and rotary motions; therefore the unverifiability of the ether can be maintained only if the rotary motion (of a physical object) relative to the ether also cannot be proved.

The experiments of M. G. Sagnac, F. Harress, B. Pogány, A. A. Michelson and H. G. Gale attest to just the opposite: their optical rotary experiments succeeded in demonstrating the rotary motion of revolving bodies — including that of the Earth — in relation to the ether. From these experiments it became clear that among those coordinate systems in different states of motion whose axes coincide with the axis of rotation of the given revolving body there is only one such  $K_0$  system in which light is propagated in an isotropic manner at a velocity equalling  $3 \cdot 10^{10}$  cm/sec. The angular velocity of the rotating body compared to a  $K_0$  system is measurable. The angular velocity of the rotating body remains the same in the same  $K_0^*$  systems which uniformly move in a straight line in comparison to the  $K_0$ . But the *speed of light* in these  $K_0^*$  systems will not be as great as in the  $K_0$  system and of course it will not even be isotropic. In systems performing a rotary motion relative to the  $K_0$  neither the velocity of light nor the angular velocity of the revolving body will be as great as in the  $K_0$  system.

These experiments lead to the philosophical conclusion that Einstein's claims of there being no light-supporting medium and of all electromagnetic effects being only the physical function of void, fieldless space are false. At the same time they support the dialectical materialistic stand that light is a *material phenomenon* and is the spatial and temporal periodic electromagnetic change of state in a material object propagating light.

The velocity of light is really independent of the state of motion of the *light source* but it is not free from the state of motion of the *referential system*. In the optical translatory experiments the anisotropy of the propagation of light cannot be traced because the acceleration in the experiments deforms the accelerated material system and this deformation compensates for the anisotropy of the propagation of light. In a dialectical materialistic sense the invariance of the velocity of light as well as any other invariance can be interpreted only together with the simultaneous occurrence of effects balancing one another. The admission of the deformation caused by acceleration must logically lead to concluding the anisotropy of the propagation of the velocity of light. Test results have also proved this view.