TANULMÁNYOK

A speciális relativitáselmélet filozófiai problémái

JÁNOSSY LAJOS

Bevezetés

Jelen tanulmány egy, a Voproszi Filoszofiiban megjelent cikknek kissé átdolgozott változata. Miután a cikk első fogalmazása elkészült, a kézirat alapján különböző viták folytak le a problematikáról. A téma megvitatást nyert, a többi között, az MTA Filozófiai Intézetében, a Pécsi Fizikus Vándorgyűlésen elhangzott előadást követően, és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Világnézeti Bizottsága keretén belül. E viták megerősítettek abban, hogy felfogásom a relativitáselméletről egészében helyes, részletkérdésekben azonban az eredeti fogalmazások kiegészítésre szorulnak, és kívánatos lenne a cikket alaposan átdolgozni. Annak azonban, hogy a cikket mégis eredeti formájában teszem közzé, két oka van: egyrészt Elek Tibor néhány újabb cikke,[1] amelyekben Einstein filozófiai nézeteit az általam képviselt felfogásnak megfelelően és azt kiegészítve részletesen elemzi. Különösen fontos e szempontból Elek Tibor kandidátusi vitájának összefoglalása, amely most van megjelenés alatt.

Másrészt több fizikussal való beszélgetésem alapján felmerült annak szükségessége, hogy felfogásomat fizikus szempontból részletesebben kidolgozzam. Ennek megfelelően hozzákezdtem egy monográfia megírásához, amelyben a relativitáselméletet, a kísérleti tényekből kiindulva, saját felfogásom szerint kiépítem. Minthogy azonban e monográfia megírása sok időt vesz igénybe, s ideiglenes átdolgozással sem akarok időt vesztegetni, ezért a cikket jelenlegi, nem tökéletes formájában bocsátom a nyilvánosság elé, abban a reményben, hogy további viták alapjául fog szolgálni.

I. RÉSZ

1. §. Több korábbi publikációmban[2, 3, 4] a fizikus szemszögéből elemeztem a relativitáselmélet néhány kérdését. E cikkekben azt igyekeztem megmutatni, hogy az Einstein speciális relativitási elve alapján értelmezett jelenségeket lehet más módon is magyarázni, hasonlóan a Lorentz és Fitzgerald által javasolt interpretációhoz. Igyekeztem kimutatni azt is, hogy a fizikus számára előnyös, ha ezeket az elgondolásokat teszi magáévá.

2. §. Meggondolásaimat elsősorban két szempontból érte kritika. Ami az első szempontot illeti (ezt, többek között, Tamm[5] igen rövid kritikája fej-

[1] Albert Einstein ismeretelméleti koncepciójáról és a relativitáselmélet filozófiai tartalmáról. (Rövidített szöveg. Filozófiai Szemle, 1961. 4. sz. 504. o.); Teljes szöveg. KFKI kiadása, Bp. 1961.

[2] *L. Jánossy :* Acta Phys. Hung. *1*, 391, 1952.; Ann. d. Phys., *11*, 293, 1953.

[3] Jánossy L.: M. Tud., *63*, 15, 1956.

[4] *Л. Яноши:* Усп. Физ. Наук, *62*, 149, 1957.

tette ki, lásd ezenkívül Novobátzky[6]), egyszerű félreértésen alapult. Gondolatmenetem, amint az részletes kifejtéséből nyilvánvaló, matematikai szempontból a Lorentz-transzformáción alapul, akárcsak maguk az ortodox elgondolások is. Éppen ennek következtében a „saját felfogásom" alapján kapott eredmények részleteikben nem térnek el az ortodox relativisták által elfogadott eredményektől — így azután eleve sikertelen minden olyan próbálkozás, amely eredményeimben hibákat igyekszik felfedezni, amint azt például Tamm tette.

A „saját felfogásom" kifejezést azért tettem idézőjelbe, mert ez valójában nem más, mint A. H. Lorentz elgondolásai a mai fizika nyelvén kifejezve, felhasználva azokat az eredményeket is, amelyek Lorentz munkásságának befejezése után kerültek nyilvánosságra.

Hogy a Lorentzéval azonos alapokon nyugvó megfontolásaim nem tartalmaznak több ellentmondást, mint az ortodox felfogás, az megerősítést nyert például egy, a dubnai Egyesített Atomkutató Intézetben lefolytatott, e tárgykörrel foglalkozó vitában is.

Markov professzor, a vita eredményeit összefoglalva, félreérthetetlenül kijelentette, hogy az általam javasolt felfogás az alapvető kijelentéseiben ellentmondásmentes. Markov professzor és vele együtt mások azonban előnyben részesítik Einstein felfogását. Hasonló eredményre vezettek a már fent említett, Magyarországon lefolytatott viták.

Ezzel kapcsolatban azt is hangsúlyozni szeretném, hogy amint az elgondolásaim matematikai részét illető kritikák téves értelmezésen alapultak, ugyanúgy hibás minden törekvés, amely a két felfogás között *experimentum crucis* útján igyekszik dönteni, amint ezt felfogásomnak túlságosan lelkes követői megkísérelték.

A két felfogás között a valódi különbség az, hogy míg Einstein felfogása szükségképpen, *elvben* kizárja minden olyan jelenség fellépésének lehetőségét, amely ellentmond a Lorentz-invarianciának, addig Lorentz felfogása szerint az ilyen effektusok, amennyiben kiderülne, hogy vannak ilyenek, jóval könnyebben beépíthetők az elméletbe. Ezt a problémát a későbbiekben részletesen fogjuk tárgyalni.

3. §. Az elgondolásaim ellen felhozott másik érv (lásd pl. A. D. Alekszandrov[7]) az volt, hogy akármilyen helyesek is e megfontolások matematikai szempontból, mégis hiányzik belőlük egy olyan átfogó alapelv, aminővel a relativitáselmélet rendelkezik. Felhozták érvként, hogy a jelenségeket egy sor *ad hoc* feltevéssel kell magyaráznom, míg ugyanezeket az Einstein-féle elmélet az általános alapelvének közvetlen következményeiként magyarázza.

Ilyen érveket Lorentz ellen már maga Einstein is felhozott; az alábbiakban idézem Laue könyvének[8] idevonatkozó világos megállapítását:

„Ezzel szemben a kibővített Lorentz-féle és a relativitáselmélet között igazi döntést kísérleti alapon egyáltalán nem lehet hozni, és ha az előbbi mégis háttérbe szorult, úgy ennek elsősorban az az oka, hogy bármilyen közel jár

[5] *И. Э. Тамм:* Усп. Физ. Наук, *62*, 182, 1957.

[6] Novobátzky K.: M. Tud., *63*, 393, 1956.

[7] *А. Д. Александров:* Философские вопросы современной физики, Изд. Акад. Наук СССР, 1959. стр. 276.

[8] *M. von Laue :* Die Relativitätstheorie. Druck u. Verl. Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig, 1919. 34. o.

is a relativitáselmélethez, mégis híjján van egy olyan nagyszabású, egyszerű és általános elvnek, amely a relativitáselméletnek már eleve bizonyos impozáns jelleget kölcsönöz."

Ez az idézet jól szemlélteti, többek között, a 2. §-ban tett kijelentéseimet arra vonatkozólag, hogy Einstein és Lorentz felfogása között, matematikai szempontból, nincs kimutatható különbség, másrészt azt is megmutatja, hogy a gondolatmenetemmel szemben felhozott filozófiai érvek részben azonosak a Lorentz felfogásával szemben már a század elején felhozott érvekkel.

Jelen dolgozatunk fő feladatának tekintjük annak kimutatását, hogy a relativitás elve — és éppen ez az az általános elv, amelyre a fenti idézetben Laue utal — Lorentz elgondolásait alapul véve, de kissé másképpen megfogalmazva is kimondható. A relativitási elvnek ezt az alternatív megfogalmazását *Lorentz-elvnek* fogjuk nevezni, s a későbbiekben adjuk meg.

Jelen dolgozatunkban ki fogjuk mutatni, hogy a relativitási elv, amelyen a relativitáselmélet szokásos formája alapul, helyettesíthető egy másik elvvel, amely szorosan Lorentz eredeti elgondolásain alapul. Ki fogjuk mutatni, hogy a Lorentz-elv ugyanolyan általános elv, mint az Einstein-féle relativitási elv.

Történeti megjegyzések

4. §. A relativitáselmélet analizálása során nem érdektelen megvizsgálni azokat a történelmi körülményeket, amelyek között az elmélet megszületett. Einstein a relativitási elvet a század elején abban az időpontban állította fel, amidőn Mach és a pozitivista iskola rendkívül divatos volt. Einstein a relativitási elv megfogalmazásakor olyan terminológiát használt, amely meglehetősen emlékeztet Mach kifejezésmódjára. Ezt a körülményt Einstein „The Meaning of Relativity" c. munkájából vett idézettel szemléltetjük:[9]

„A beszéd segítségével különböző egyének bizonyos mértékben képesek arra, hogy összehasonlítsák tapasztalataikat. Ilyen módon kiderül, hogy különböző egyének bizonyos jellegű érzéki észleletei megfelelnek egymásnak, míg más jellegű érzetekre vonatkozóan ilyen megfelelést nem lehetett megállapítani. Hozzászoktunk ahhoz, hogy valóságosnak azokat az észleleteket tekintsük, amelyek különböző egyéneknél közösek, és amelyek, ennek következtében, bizonyos fokig személytelenek. A természettudományok, és így különösen közülük a legalapvetőbb, a fizika, az ilyen jellegű érzéki észleletekkel foglalkozik. A fizikai testek, speciálisan pedig a merev testek fogalma ilyen jellegű észleleteknek viszonylag állandó komplexuma. Ugyanilyen értelemben fizikai test, illetőleg fizikai rendszer az óra is, azzal a járulékos tulajdonsággal, hogy az általa számlált eseménysorozat olyan elemekből áll, melyek mindegyikét azonosnak tekinthetjük.

Fogalmaink vagy fogalmaink rendszere csupán azáltal válnak jogosulttá, hogy tapasztalataink bonyolult összességének reprezentálására szolgálnak; ezen túlmenően nincsen jogosultságuk. Meggyőződésem szerint a filozófusok káros hatással voltak a tudományos gondolkodásra azáltal, hogy bizonyos

[9] *A. Einstein :* The Meaning of Relativity. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey 1955. 1—2. o.

alapvető fogalmakat az ellenőrzésünk alatt álló tapasztalati világból az *a priori* megfoghatatlan magasságaiba helyeztek át. Még akkor is, ha bebizonyosodnék, hogy a fogalmak világa nem vezethető le logikai úton a tapasztalásból, hanem bizonyos értelemben az emberi értelem szüleménye, amely nélkül semmiféle tudomány nem lehetséges, a fogalmaknak e világa ebben az esetben is épp oly kevéssé lenne független tapasztalataink természetétől, mint ahogy nem független a ruházat sem az emberi test alakjától. Ez az állítás különösen helytálló a mi tér- és időfogalmainkat illetően, melyeket a fizikusok a tények kényszerítő erejénél fogva lehoztak az *a priori* Olümposzáról, hogy ezáltal e fogalmakat a valósághoz szabják és használható formába öntsék."

Az idézett szöveg első része a pozitivista iskola terminológiája szerinti fogalmazás. A második rész pedig azt a meglehetősen meglepő nézetet fejti ki, hogy a pozitivista álláspont alternatívája az a felfogás, amely szerint „a tudományos eredmények az emberi értelem szüleményei", megtoldva azzal a figyelmeztetéssel, hogy bár az ilyen jellegű alkotás időnkint szükséges lehet, mégsem szabad azt a tapasztalatoktól függetlenül létrehozni. Teljesen hiányzik e felfogásból a materialista álláspont, amely szerint mind az érzéki észleletek, mind a tudományos elmélet az objektíve létező világnak és e világ objektíve létező törvényeinek tükröződései.

Ennek a cikknek keretében azonban nem kívánunk Einstein filozófiai felfogásaival részletesen foglalkozni, hanem inkább a relativitáselmélet egyes kérdésfeltevéseit akarjuk elemezni.

Einstein filozófiai felfogásaival *Elek Tibor* néhány cikkében foglalkozik, és az általa kifejtett nézetek jelen cikket kiegészítik.

A térre, az időre és a mértékeikre vonatkozó meggondolások

5. §. A relativitáselmélet problémája körüli filozófiai zavar jórészt két fogalomnak a meg nem különböztetéséből származik: ezek egyike az *idő mint olyan*, másika pedig az *idő mértéke*, amelyet megfelelő órák segítségével kapunk meg.

Einstein, midőn „az idő definíciójáról" beszél, az órák szinkronizálására szolgáló alkalmas módszerben való megállapodásra gondol, és ezen keresztül arra, hogy míly módon állapíthatjuk meg az idő konvencionális mértékszámát. Az utóbbi probléma, nevezetesen az órák szinkronizálásának és a távolságmérés mikéntjének kérdése, valóban nagyon fontos a kísérletek analízise szempontjából. Mindazonáltal nem szabad azt gondolnunk — amint azt Einstein tette —, hogy ezek a módszerek megadják az „idő definícióját". És most Einsteint idézzük:[10]

„Ha egy anyagi pont mozgását le akarjuk írni, akkor koordinátáinak értékét az idő függvényeként adjuk meg. Nem szabad azonban szem elől tévesztenünk, hogy egy ilyen matematikai leírásnak csak akkor van fizikai értelme, ha már előzőleg tisztáztuk, mit értünk itt ‚idő'-n."

Majd később így folytatja:

„Úgy tűnhetnék, hogy az *idő* definíciójával kapcsolatos valamennyi nehézséget le lehetne győzni, ha az ‚idő' helyébe ezt a kifejezést iktatjuk:

[10] *Lorentz—Einstein—Minkowski :* Das Relativitätsprinzip. Verl. B. G. Teubner, Leipzig u. Berlin 1913. 28—29. o.

‚órám kismutatójának állása'. Egy ilyen meghatározás valóban kielégítő abban az esetben, ha arról van szó, hogy egy időt kizárólag arra a helyre vonatkoztatva definiáljak, ahol az óra éppen van; de már nem elégséges, mihelyt arról van szó, hogy különböző helyeken lejátszódó eseménysorozatokat kapcsolunk össze időbelileg egymással, vagy — ami végső soron ugyanaz — olyan eseményeket értékelünk időbelileg, amelyek az órától távol eső helyeken mennek végbe."

Megemlítjük, hogy az általános relativitáselmélet keretében az idő- és, egyúttal, a térkoordináták mértékét többféle módon lehet bevezetni; e mértékek megválasztásának önkényes voltát Einstein az idő és a tér „definíciójának" szabadon választhatóságával magyarázza. Ily módon vonják le a konzekvenciát (most Lauet idézzük):[11]

„Midőn az általános realitivitáselmélet az ilyenfajta normálkoordinátáktól teljesen eltekint, ezáltal — Einstein egyik kijelentése szerint — ‚a teret (és az időt is) megfosztja a fizikai tárgyszerűség utolsó maradványaitól is'."

Valójában azonban ez az állítólagos definíció semmi esetre sem definíció.

6. §. Továbbmenően: egy dolog nem veszti el objektív realitását azáltal, hogy különböző módokon lehet mérni. Két város közötti távolságra különböző mértékszámokat alkalmazunk, ha egyszer centiméterekben, máskor kilométerekben mérjük meg, ennek ellenére a távolság objektív valóság, amelyet különböző mértékek szerint adhatunk meg. Ez, természetesen, igaz valamennyi fizikai mennyiségre. Ha mi T-t, a hőmérséklet szokásos mértékét, egy $\Theta = \varphi(T)$ függvénnyel helyettesítjük, akkor Θ-t a hőmérséklet mértékéül definiálhatjuk (illetőleg annak jelenthetjük ki). Amennyiben így teszünk, valamennyi olyan formulában, ahol T-t kellene írnunk, ott most $\varphi^{-1}(\Theta)$-t kell behelyettesítenünk, ahol φ^{-1} a φ függvény inverze.

A hőmérsékleti skála ezen szabadon választhatóságát azonban nem szabad úgy felfognunk, hogy a „hőmérsékletnek nincs objektív realitása". Tér- és idő-koordináták esetében az x, y, z és t koordináták négy függvénye négy általános koordinátát szolgáltat. Mivel azonban az előbbi és az utóbbi koordináta-mérés között kölcsönös megfelelés áll fenn, e transzformáció,bonyolultsága ellenére sem fog mást jelenteni, mint az eredeti mérték megváltoztatását.

Távoli órák szinkronizálásának módszere

7. §. Az órák ellentmondásmentes szinkronizálása, továbbá a távolságmérés ellentmondásmentes megvalósítása módszerének megtalálása, amelyre Einstein fent idézett soraiban utal, még akkor is jelentős fizikai probléma, ha nem is adja az idő és a tér definícióját. Semmi esetre sem magától értetődő, milyen módon is kellene szinkronizálni az egymástól nagy távolságban levő órákat. Mivel a szinkronizálási eljárás elfogadott módszere jelentős a további analízis szempontjából, e helyütt a probléma bizonyos fokig technikai jellegű tárgyalásába bocsátkozunk.

[11] *M. von Laue :* Id. mű 25. o.

8. §. Ha össze akarjuk hasonlítani két távoli óra állását, természetesnek látszik, hogy valamilyen optikai berendezéssel egyidejűleg tekintsünk rájuk. Ha az órák távolsága nagy, akkor legalább az egyik óra állásának optikai módszerrel megfigyelt *értékét* korrigálni kell annak az időnek számításba vételével, amely alatt a fény az órától az észlelőig eljut. Ilyen korrekciót azonban csak akkor adhatunk, ha ismerjük a fényterjedés törvényszerűségeit.

Az elektromágneses tér Maxwell-féle elmélete értelmében a fény elektromágneses perturbáció, amely a vákuumban minden irányban egyaránt $c = 300\,000$ km/sec sebességgel terjed. A Maxwell-féle elmélet szembetűnő teljesítménye, hogy a c numerikus értékét elektromos áramokkal, mágnesekkel és kondenzátorokkal végrehajtott mérések eredményeképpen előre meglátja.

A Maxwell által levezetett fénysebességértéknek csak akkor van értelme, ha egyidejűleg megmondjuk, hogy mihez viszonyítva is lesz c a fénysebesség.

Maxwell feltételezése szerint az elektromágneses hullámok az éterben terjednek, és ezért c a fény sebessége az éterhez képest. Később Einstein az étert „metafizikai fogalomnak" nyilvánította, és ezáltal maradt egy sebességértékünk anélkül, hogy világosan megmondhattuk volna, mihez is kell viszonyítanunk.

Az éter kérdéséhez a későbbiekben még visszatérünk. Mivel azonban nem tudunk elképzelni sebességet materiális vonatkoztatási rendszer nélkül, be kell vezetnünk egy K_0-rendszert, amelyben, tudomásunk szerint, a fénysebesség értéke c. További meggondolásaink szempontjából nem sokat számít, vajon meg tudunk-e adni gyakorlati módszert arra vonatkozóan, mi módon lehet a K_0 rendszert egyértelműen meghatározni. A K_0 fogalmát később a III. részben tesszük részletesebb vizsgálat tárgyává. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy semmilyen elmélet sem fogalmazható meg anélkül, hogy ne ilyen fogalom szolgálna kiindulásul. Valójában Einstein sem tehet mást, mint hogy az egyidejűségre vonatkozó meggondolásai során ugyanezt az eljárást választja, mindössze lelkiismerete megnyugtatására idézőjeleket használ.

Idézzük Einstein gondolatmenetének bevezető megjegyzéseit:[12]

„Legyen egy koordinátarendszerünk, amelyben a Newton-féle mechanikai egyenletek érvényesek.* Ezt a koordinátarendszert a később bevezetendő koordinátarendszerektől való nyelvi megkülönböztetés és a fogalom szabatos meghatározása céljából ‚nyugvó rendszer'-nek nevezzük."

* Értsd: „Első közelítésben érvényesek". (Einstein lábjegyzete.)

Félreértés elkerülése végett hangsúlyozzuk, hogy a K_0 rendszer egyáltalán nem képviseli az „abszolút nyugalmat". A K_0 rendszert egyszerűen a fény terjedésével kapcsolatosan vagyunk kénytelenek bevezetni, és úgy is tekinthetjük, mint azt a rendszert, amely a fény hordozójához képest nyugalomban van (úgy képzeljük el, hogy a fénynek van hordozója). Minthogy a fény terjedési sebessége a világ különböző részeiben különbözik, a K_0 rendszernek tisztán lokális jelentősége van. Nem képzeljük el, hogy az így a naprendszer környékében bevezetett K_0 rendszer merev extrapolációja a tőlünk távoli csillagrendszerek K_0 rendszereit képezi.

9. §. A következőkben ismertetünk egy gondolatmenetet, amelynek lényege egyenértékű Einsteinnek az órák szinkronizálására és a távolságok mérésére vonatkozó gondolatmenetével. Tekintsük a $P_1, P_2, \ldots, P_k$ pontok-

[12] *Lorentz—Einstein—Minkowski :* Id. mű 28. o.

ban nyugvó $A_1, A_2, \ldots, A_k$ órákat. Fogjuk fel például az A_1 órát normálórának, és tűzzük ki célul A_2-nek e normálórához való szinkronizálását.

A szinkronizálást a normálórától a szinkronizálandó óráig és onnan visszajutó fényjelek segítségével hajtjuk végre. Tegyük fel, hogy fényjelet küldünk a P_1 pontból a P_2 pontba, és hogy a P_2 pontban felállított tükör a fényjelet P_1-be veri vissza. Ha a fényjel kibocsátásának időpontját t_1-gyel, visszaérkezésének időpontját t_3-mal jelöljük, akkor fel kell tennünk, hogy a fényjel az A_2 órát a

$$t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2} \tag{1}$$

közbenső időpontban érte el.

A t_1 és t_3 időpontokat az A_1 normálórán olvassuk le. A fényjelnek P_2-ben történő megérkezését A_2-n leolvassuk. Tegyük fel, hogy a fényjel érkezésekor az A_2 óra a $t_2' \neq t_2$ időpontot mutatja. Ebben az esetben az A_2-n leolvasott értéket, ennek megfelelően, korrigálni kell. A szinkronizálási eljárást mindaddig folytatni kell, amíg az A_1 és A_2 órák között a fenti módon kicserélt fényjelsorozatra nézve az (1) alapján számított t_2 időpontokat az A_2 órán leolvasott t_2' időpontokkal egyezőknek nem találjuk.

Az A_2 órának az A_1 normálórával az (1) egyenlet alapján fényjelekkel történő szinkronizálása azon a feltevésen alapul, hogy a fény A_1-től A_2-ig, illetve visszafelé, A_2-től A_1-ig való terjedéséhez szükséges $t_2 - t_1$, illetve $t_3 - t_2$ időtartamok egyenlők.

A szinkronizálási eljárás mellékeredményeként megkaphatjuk a P_1 és a P_2 pontokat összekötő r_{12} távolságot is. Ez a következő lesz:

$$r_{12} = \frac{c}{2}(t_3 - t_1) \tag{2}$$

Az $A_3, A_4, \ldots, A_k$ órákat a fent leírt módszerrel szinkronizálva, és, ezzel egyidejűleg, az $A_3, A_4, \ldots, A_k$ pontoknak A_1-től való $r_{13}, r_{14}, \ldots, r_{1k}$ távolságait meghatározva, feltérképeztük a K_0 rendszert, és előállítottuk a szinkronizált órák egy rendszerét.

10. §. A szinkronizálási eljárástól elvárjuk, hogy ellentmondásmentes eredményre vezessen. Ezen azt értjük, hogy ha egyszer A_1-et tekintve normálórának, hozzá szabályoztuk az $A_2, A_3, \ldots, A_k$ órákat, akkor ha bármelyik másik szinkronizált órát, pl. A_2-t tekintjük normálórának, az eljárást megismételhetjük, azzal az eredménnyel, hogy az eredetileg A_1-gyel szinkron órák automatikusan szinkronoknak bizonyulnak A_2-vel, az új normálórával is. Ily módon a 9. §-ban leírt módszer szerint szinkronizált órák kölcsönösen szinkronok lesznek, és a szinkronizálás megtörténte után a normálóra elveszti kivételes szerepét.

Ezen túlmenően: a (2) összefüggést tetszőleges órapárok között kicserélt fényjelekre alkalmazva, meghatározhatjuk az $r_{\nu\mu}$, $\nu \neq \mu$, $\nu, \mu = 1, 2, \ldots, k$ távolságokat az órapárok között. Az $r_{\nu\mu}$ mennyiségektől elvárjuk, hogy az (euklideszi) geometriából következő egyszerű összefüggéseknek eleget tegyenek.

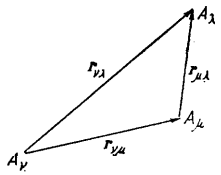
Hogy ezeket az összefüggéseket egyszerű módon fogalmazhassuk meg, megjegyezzük, hogy az órákat összekötő egyenesek irányát könnyen meg tudjuk határozni, és ily módon az $r_{\nu\mu}$ távolságokon kívül az $\mathbf{r}_{\nu\mu}$, $\nu, \mu = 1, 2, \ldots k$, vektorokat is; itt az $\mathbf{r}_{\nu\mu}$ az A_ν óra felől az A_μ óra felé mutató vektor.

A geometriai törvények értelmében (lásd az 1. ábrát)

$$\mathbf{r}_{\nu\mu} = -\mathbf{r}_{\mu\nu}, \quad \nu, \mu = 1, 2 \ldots, k,$$

hasonlóképpen

$$\mathbf{r}_{\nu\mu} + \mathbf{r}_{\mu\lambda} = \mathbf{r}_{\nu\lambda}, \quad \nu, \mu, \lambda = 1, 2, \ldots, k.$$



1. ábra

11. §. A K_0 rendszerben levő órák rendszerének a 10. §-ban leírt szinkronizáló eljárására vonatkozó próba egyúttal kritériuma az eljárás alapjául szolgáló feltevések érvényességének is. Így, ha az eljárás kiállja a próbát, ez azt mutatja, hogy nem vezet ellentmondásra az a feltevés, amely szerint K_0-t kitüntetett rendszernek tekintjük.

Érdekes problémát jelent annak a kérdésnek a vizsgálata, vajon mi történik akkor, ha egy, a K_0-hoz képest mozgó K rendszer óráit a 9. §-ban leírt módon szinkronizáljuk anélkül, hogy tekintetbe vennők K-nak K_0-hoz viszonyított mozgását.

Valóban, ha a K mozgó rendszer óráit úgy akarjuk szinkronizálni és távolságaikat úgy akarjuk megmérni, hogy az (1) és (2) formulákat használjuk, figyelmen kívül hagyva azt, hogy ezek az összefüggések csak kitüntetett rendszerre vannak szabva, akkor helytelen szinkronizálásra jutunk.

Ha t'-vel jelöljük a K mozgó rendszer egyik órájának állását, és t-vel egy helyesen szinkronizált óra állását, akkor általában $t \neq t'$, ahol t és t' egy meghatározott esemény időmérési adata K_0, illetőleg K rendszerben levő, a fenti módon kezelt órákon leolvasva.

Ha azonban ismerjük a K rendszer mozgásállapotát, akkor az (1) és (2) összefüggésekben egyszerű korrekciós tagokat alkalmazhatunk, és ily módon megvalósíthatjuk az órák helyes szinkronizálását, és meghatározhatjuk pontos távolságukat a K rendszerben is.

Felmerül az a kérdés, vajon megállapíthatjuk-e a K rendszer helytelenül szinkronizált óráinak t' állásából a K rendszer mozgásállapotát.

Egyszerű geometriai meggondolások szerint két esetet kell megkülönböztetnünk.

Forgó koordinátarendszer

12. §. Tegyük fel, hogy pl. a K rendszerben az $A_1', A_2', \ldots, A_k'$ órák a rendszerhez képest rögzített helyzetben vannak. Tegyük fel továbbá, hogy a rendszer, mint egész, egy rögzített irányú tengely körül egyenletesen forog. Ha a forgó rendszer óráinak egyikét, pl. A_1-t normálórának választjuk, akkor az $A_2', A_3', \ldots, A_k'$ órákat az (1) összefüggés alkalmazásával tisztán formálisan szinkronizálhatjuk. A szinkronizálási eljárás ez esetben hibás lesz, mivel az

A_1'-ből A_2'-be és vissza haladó fényjelek terjedéséhez szükséges $t_2 - t_1$ és $t_3 - t_2$ időtartamok a rendszer forgásának következtében most már nem egyenlők.

Hogy az ily módon végrehajtott szinkronizálás hibás, azt pusztán belső próba útján is megállapíthatjuk. Valóban, ha a szinkronizálási eljárást a forgó rendszerben mindig más és más órának normálóraként való felhasználásával megismételjük, azt találjuk, hogy a tetszőlegesen választott A_1' normálórával szinkronizált órák általában nem lesznek szinkronok egy másik, A_2' normálórával.

Emellett a K forgó rendszer órái szabályozásával járó ellentmondásokat vizsgálva, mint az kimutatható, meghatározhatjuk a K rendszer szögsebességét és forgástengelyének irányát.

A fenti meggondolásokat alkalmazva, Sagnac-nak sikerült, jól ismert kísérlete során, egy interferométer segítségével, a Föld forgási sebességét meghatároznia.

Transzlációs mozgások

13. §. Amíg, mint láttuk, egy rendszer forgását pusztán optikai eszközökkel is sikerült megállapítani, addig kimutatható, hogy a rendszer *transzlációs* mozgását ilyen módon észlelni nem lehet.

Tegyük ugyanis fel, hogy egy K rendszer a K_0 nyugalmi rendszerhez képest v állandó sebességgel mozog. Ha a mozgó rendszerben, a 9. §-ban megadott módszer szerint, a mozgás befolyásának elhanyagolásával szabályozzuk az órákat, hibás módon szinkronizáljuk őket. A szabályozásnál elkövetett hibák azonban olyan természetűek, hogy belső összehasonlítás útján nem mutathatók ki.

Ha ugyanis az $A_2', A_3', \ldots, A_k'$ órákat (elvben helytelenül ugyan, de) úgy szabályoztuk, hogy az eljárás végrehajtása után valamennyien szinkron fognak járni A_1'-gyel, akkor azt fogjuk találni (amint az egyszerű kinematikai meggondolás alapján kimutatható), hogy az órák akkor is szinkronizáltnak tűnnek fel, ha A_1' helyett bármelyik más, pl. az A_2' órát tekintjük új normálórának. Ezek szerint tehát az órákat ellentmondásmentesen szinkronizáltuk.

Emellett a 9. § (2) összefüggésének felhasználásával meghatározhatjuk az A_ν' és A_μ' órák közötti $\mathbf{r}_{\nu\mu}$ távolságok mérőszámait. Az ily módon számított távolságmérőszámok azonban hibásak, mivel a javasolt mérési módszer kivitelezése során elhanyagoltuk a rendszer mozgásának hatásait. Ha a helytelenül mért távolságértékeket $\mathbf{r}_{\nu\mu}'$-vel jelöljük, akkor általában

$$\mathbf{r}_{\nu\mu} \neq \mathbf{r}_{\nu\mu}', \quad \nu, \mu = 1, 2, \ldots, k.$$

Ezzel szemben, amint azt matematikai úton könnyen igazolhatjuk, az ezen az úton kapott $\mathbf{r}_{\nu\mu}'$ mérőszámok ellentmondásmentesek: eleget tesznek azoknak a geometriai összefüggéseknek, amelyeket egy fix pontokból álló rendszer egyes pontjai kölcsönös távolságától elvárunk, nevezetesen fenn fognak állni az

$$\mathbf{r}_{\nu\mu}' = -\mathbf{r}_{\mu\nu}',$$

$$\mathbf{r}_{\nu\mu}' + \mathbf{r}_{\mu\lambda}' = \mathbf{r}_{\nu\lambda}', \quad \nu, \mu, \lambda = 1, 2, \ldots, k$$

összefüggések, ahol $r'_{\nu\mu}$ az A'_ν pontokból kiinduló és az A'_μ látszólagos irányába mutató vektor helytelen mértéke. (A látszólagos irány különbözik a valódi iránytól, mivel a fényjel a K mozgó rendszerhez képest aberrációt mutat.)

Ezek szerint nyilvánvaló, hogy a K rendszer transzlációs mozgása, a forgó mozgással ellentétben, nem mutatható ki K rendszerben rögzített órák között oda-vissza küldött fényjelekkel.

14. §. A 13. § végeredményének elemzése céljából vizsgáljuk most meg részletesen a K_0 és a K rendszerben megállapított mérőszámokat. Kimutatható, hogy a 11. §-ban ismertetett módszer szerint kapott hibás idő- és távolságmérő számokat a helyes távolság- és időmérő számokból Lorentz-transzformáció útján számíthatjuk ki.

Jelöljük Q-val valamely, az x, y, z pontban t időpontban lejátszódó eseményt; a térkoordinátákat és az időt a K_0 rendszerhez képest mértük. Az esemény koordinátái és időpontja, a K rendszerből megfigyelve, a következők lesznek:

$$x', y', z', t' = L(x, y, z, t), \tag{3}$$

ahol L a Lorentz-transzformáció szimbóluma.

Abban a speciális esetben, ha a K rendszer a K_0 x-tengelyének irányában v sebességgel mozog oly módon, hogy K és K_0 tengelyei mindig párhuzamosak, megfelelő skála alkalmazása esetén a következő egyenletrendszer reprezentálja a transzformációt:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \tag{4}$$

A (3) inhomogén lineáris transzformáció — általános esetben — 20 együtthatóval rendelkezik; ezek az együtthatók 10 független paraméter függvényei.[13]

E paramétereket együttesen a **v** szimbólummal foglalhatjuk össze. Így (3) helyett a következőt írhatjuk:

$$x', y', z', t' = L_{\mathbf{v}}(x, y, z, t), \tag{5}$$

ahol a **v** index tehát K-nak K_0-hoz viszonyított sebességét és orientációját jelzi.

Megjegyezzük, hogy a K és K_0 rendszerek távolság- és időkoordinátái között a (3)-mal vagy (5)-tel kifejezésre juttatott összefüggés csak abban az esetben érvényes, ha a két rendszerben a mértékegységeket megfelelően választjuk meg. Ezt a kérdést itt közelebbről nem tárgyaljuk.

15. §. Megemlítjük a Lorentz-transzformáció következő fontos tulajdonságát: az (5) által adott összefüggést megfordíthatjuk, és így kiszámíthatjuk az x, y, z, t mérőszámokat az x', y', z', t' mennyiségek függvényeként. Amint egy rövid számítás mutatja, a K_0-ra vonatkozó koordináták és idők, a (4) egyenletrendszerből, a következőképpen adódnak:

$$x, y, z, t = L_{-\mathbf{v}}(x', y', z', t'), \tag{6}$$

[13] A szóban forgó 10 paraméter a következő: a K rendszer K_0-beli mozgását leíró v sebesség v_x, v_y, v_z komponensei; a K rendszer origójának a $t = 0$ időpontban fennálló koordinátái: x_0, y_0 és z_0; a K origójában elhelyezett óra állása a $t = 0$ időpontban: t_0; végül a K rendszer tengelyeinek irányát a K_0 tengelyhez képest megszabó három szög.

ahol $L_{-\mathbf{v}}$ reprezentálja azt a Lorentz-transzformációt, mely a kitüntetett rendszert olyan transzlációs rendszerbe vinné át, melynek mozgása és orientációja a nyugalmi rendszerhez képest ugyanaz, mint K_0-é K-hoz képest.

Így, például, a (4) alatti speciális Lorentz-transzformáció inverzeként a következő transzformációt kapjuk:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{7}$$

Ezek szerint a (7)-t úgy is megkaphatjuk (4)-ből, hogy a vesszős és a vesszőtlen koordinátákat felcseréljük, és ezzel egyidejűleg $\mathbf{v}$-t —$\mathbf{v}$-vel helyettesítjük.

Az (5) és inverz kifejezése, (6), között fennálló szimmetria fizikai jelentése a következő. Ha a K_0 és a K rendszer időmérési adatait tekintjük, ezekből egyedül nem dönthető el, hogy a két rendszer közül melyik mozog és melyik van nyugalomban, mivel a K_0 koordinátáit a K rendszerben mért koordinátákba átvivő transzformáció formailag pontosan azonos az inverz transzformációval.

Ha tehát nem áll rendelkezésünkre más, mint távolság- és időmérési adat, nincs módunkban eldönteni azt, hogy ha egyáltalában valamelyik, akkor a vesszős és vesszőtlen koordináták közül melyik a helyes.

16. §. Tekintsünk végül két vonatkoztatási rendszert, K-t és K'-t, amelyek mindegyike mozog K_0-hoz képest. Az e rendszerekben mért koordinátákat és időket a következő kifejezések adják meg:

$$\begin{aligned} x', y', z', t' &= L_{\mathbf{v}}(x, y, z, t), \\ x'', y'', z'', t'' &= L_{\mathbf{w}}(x, y, z, t), \end{aligned} \tag{8}$$

ahol $\mathbf{v}$ és $\mathbf{w}$ K-nak és K'-nek K_0-hoz viszonyított paraméterei. A (8) egyenletekből kiküszöbölhetjük az x, y, z, t koordinátákat, ezáltal a következő összefüggést kapjuk:

$$x'', y'', z'', t'' = L_{\mathbf{w}-\mathbf{v}}(x', y', z', t'), \tag{9}$$

ahol $L_{\mathbf{v}-\mathbf{w}}$ az a Lorentz-transzformáció, amelyet a $\mathbf{v}$ és $\mathbf{w}$ paraméterek megfelelő kombinálása útján nyerünk. (9)-ből nyilvánvaló, hogy a K és K'-beli koordináták és idők összefüggését Lorentz-transzformáció adja meg. E szimmetria alapján világos, hogy ha több ilyen vonatkoztatási rendszerünk van, akkor lehetetlen közülük egyetlenegyet kiválasztanunk és K_0-t kitüntetett rendszernek tekintenünk, amennyiben egyedül a fényjelek segítségével szinkronizált órák használatára vagyunk utalva. Az órák viselkedése nincs ellentmondásban semmiféle olyan hipotézissel, amely egy meghatározott rendszert nyilvánít kitüntetettnek.

17. §. Fenti meggondolások módszert adnak arra nézve, milyen módon lehet az órákat bármely tetszőleges transzlációt végző vonatkoztatási rendszerben szinkronizálni. A meggondolások azt mutatják, hogy ez a módszer különböző eredményekre vezet azon rendszer mozgásállapotától függően, amelyben az órák nyugalomban vannak. Amint ezt már korábban láttuk, a szinkronizált rendszerek bármelyike felhasználható arra, hogy tetszőleges esemény távolság- és időmérő számát megadja, annál is inkább, mivel bár-

milyen módon végrehajtott szinkronizálás belső ellentmondásoktól mentes órarendszerre vezet.

Lorentz-rendszernek fogunk nevezni minden olyan K rendszert, amely egyrészt tisztán transzlációs mozgást végez, másrészt benne az órákat fényjelek segítségével a fent leírt módon szinkronizáljuk, a távolságokat pedig a 10. §-ban leírtak szerint határoztuk meg.

A Lorentz-rendszer tehát olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben a tér és az idő mérőszámait a 10. §-ban részletezett módszer segítségével rögzítettük.

E technikai részletkérdések tárgyalásánál azért időztünk hosszabb ideig, mivel szükségesek Einstein gondolatmenetének megértéséhez és elemzéséhez.

18. §. Einstein, miután kidolgozta az órák szinkronizálására szolgáló módszert, amely lényegében azonos a 9. §-ban leírt eljárással, analízise eredményeinek összefoglalásaképpen a következő kijelentést teszi:[14]

„Ily módon bizonyos (elgondolt) fizikai tapasztalatok segítségével lerögzítettük, mit kell szinkronjáró, különböző térbeli pontokon található, nyugvó órákon érteni, és nyilvánvaló, hogy ezzel az ‚egyidejűség' és az ‚idő' definícióját is megkaptuk."

Ezek szerint Einstein az idő mérésére szolgáló módszert az idő definíciójának nyilvánítja. Mivel pedig az időmérés módszere történetesen eltérő eredményekre vezet különböző vonatkoztatási rendszerek esetében, arra a következtetésre jut, hogy maga az „idő" is különböző a különböző vonatkoztatási rendszerekben. Mivel pedig nehéz lenne Einstein terminológiája szerint megérteni, mit is jelent a „vonatkoztatási rendszer ideje", helyette Einstein a „különböző észlelők által mért idő" kifejezést használja, aminek következtében a vonatkoztatási rendszert gyakran az észlelővel azonosítja.

Mi hangsúlyozzuk, hogy az órák szinkronizálásának módjára vonatkozó előírás csupán egy kényelmes időskálát választ ki, de nem emelkedik az idő definíciójának szintjére. Így az a posztulátum, hogy minden vonatkoztatási rendszernek megvan a maga „saját ideje", és hogy „az idő a vonatkoztatási rendszertől függ", olyan kijelentések, amelyeknek csak pozitivista gondolkodás keretein belül van értelmük. Mindössze annyit mondhatunk, hogy kinematikai meggondolások rávezettek bennünket az egymáshoz képest transzlációs mozgást végző vonatkoztatási rendszerekben levő órák szabályozásának alternatív módjaira.

19. §. Szükséges kijelentenünk, hogy az órák szinkronizálása fent megadott módszerének nincs közvetlen gyakorlati jelentősége, hiszen a fontos kísérletekben, pl. a Michelson-féle kísérletben, még csak meg sem próbálkoztak távoli órák szinkronizálásával, de ennek a kísérletek kimenetele szempontjából nem is lett volna semmilyen jelentősége. A szinkronizáció e módszereinek jelentősége nem gyökerezik sem a gondolatmenet „szépségében", sem „egyszerűségében". E módszerek tényleges jelentősége nem annyira gyakorlati alkalmazásukkal vagy logikai zártságukkal kapcsolatos, hanem azzal a ténynyel, hogy a velük nyert időskálák kiválóan alkalmasak az anyag bizonyos fontos dinamikai tulajdonságainak visszatükrözésére.

Továbbá meg kell jegyeznünk, hogy ha a 13. §-ban a Lorentz-rendszerben nyert koordinátákról és időkről azt állítottuk, hogy ezek „hibás" értékek, akkor pusztán arra céloztunk, hogy ezek a mérőszámok annyiban hibásak, hogy egy nem helyes feltételezés (t. i. a fény K-hoz képest izotropikus terjedé-

[14] *Lorentz—Einstein—Minkowski :* Id. mű 30. o.

sének feltételezése) alapján határozták meg őket. De ezek az így nyert koordináta-értékek mégis annyiban használhatók, hogy jól tükrözik a fizikai jelenségek belső törvényszerűségeit, amint ezt a későbbiekben ki fogjuk mutatni.

20. §. Megmutattuk tehát, hogy rögzített órák közötti fényváltásokkal képtelenek vagyunk megállapítani, vajon az órák által meghatározott rendszer a K_0 rendszerhez képest transzlációs mozgást folytat-e. Felmerül a kérdés, hogy lehetséges-e egy, a K_0-hoz képest transzlációs mozgást valami más módszerrel megállapítani.

A Föld transzlációs sebességének meghatározására szolgáló első komoly kísérletet Michelson és Morley hajtotta végre. Megkísérelték a fény különböző irányokban mért, a Földhöz viszonyított sebességei közötti különbséget kimutatni.

Tegyük fel, hogy a Föld v sebességgel mozog a K_0 rendszerben. Ekkor egyszerű kinematikai meggondolásokból adódik, hogy a vele egy irányban haladó fénynek be kell hoznia a hátrányát, hogy elérhesse, és így, a Földről nézve, $c - v$ sebességgel fog megérkezni; az ellenkező irányban haladó fénysugár pedig elébe megy a Földnek, és ezért, a Földről nézve, $c + v$ sebességgel érkezik majd meg.

Michelson és Morley a relatív sebességek különbségét megpróbálták kísérletileg kimutatni, de eredménytelenül. Trouton és Noble, valamint mások kísérletei, amelyeket a Földnek az éterhez viszonyított sebessége által előidézett effektusok kimutatása céljából hajtottak végre, hasonlóképpen eredménytelenek voltak.

Einstein és mások, több ilyen negatív kísérleti eredményből, arra a feltevésre jutottak, hogy létezik olyan általános természeti törvény, amely elvben lehetetlenné teszi a Föld transzlációs mozgásának közvetlen kísérlet útján történő meghatározását.

21. §. A felsorolt negatív kísérleti eredmények olyan bizonyítékokat szolgáltatnak, amelyek feljogosítanak annak feltételezésére, hogy a transzlációs mozgás észlelését célzó sikertelenségek nem véletlenek, hanem igenis létezik valamilyen természeti törvény, amely éppen ezen negatív eredményekben mutatkozik meg.

Általában negatív kísérleti eredmények halmaza a jelenségek mögött álló általános természeti törvény létezésére utalhat. E tekintetben talán a legjobb példa az energia megmaradásának törvénye, a mely megmagyarázza a perpetuum mobile konstruálására irányuló próbálkozások sorozatos sikertelenségét.

22. §. Sohasem szabad azonban a negatív tapasztalatokból leszűrt elvet dogmának tekinteni. Még akkor is, ha a negatív bizonyítékok halmaza igen nagy, mindig megvan a lehetőség olyan jelenségek felfedezésére, amelyek ellentmondanak a korábbi tapasztalatok alapján levezetett elvnek.

Ha azonban találhatók is új jelenségek, nem csökkentik feltétlenül annak az elvnek a jelentőségét, amelynek ellentmondanak. Semmilyen elvről sem tehetjük fel ugyanis, hogy akár érvényességi körét, akár pontosságát tekintve minden korlátozás nélkül fennáll. Egy szilárdan megalapozott elv — még ha bizonyos új jelenségek végül is ellentmondásba kerülnek vele — a már régebben megállapított határokon belül továbbra is érvényes marad.

A fenti meggondolást az alkimisták sikertelen törekvéseivel illusztrálhatjuk, akiknek fáradozásai végül is elvezettek ahhoz az elvhez, hogy a kémiai elemek egymásba alakítása lehetetlen. Ez a negatív tapasztalat készítette elő

annak a felismerését, hogy az atomok az anyag stabilis egységei. Az a tény pedig, hogy ma már nukleáris módszerekkel az elemeket, igenis, átalakíthatjuk egymásba, nem cáfolja, csupán érvényességi körét szűkíti az alkimisták által felállított elvnek, és az atomok számunkra továbbra is az anyag stabilis egységét jelentik, annak ellenére, hogy nukleáris kölcsönhatások révén átalakíthatók.

23. §. A Michelson—Morley-féle és a hozzá hasonló kísérletek által szolgáltatott kísérleti bizonyítékok halmaza alapján nyugodtan levonható az a következtetés, hogy a Föld transzlációs mozgásának hatását kísérletileg kimutatni lehetetlen.

Bár hajlandók vagyunk ezt az elvet elfogadni olyannak, mint amely igen széles érvényességi körrel rendelkezik, mégis szót emelünk (és ezt tettük korábbi dolgozatainkban is) ez elv dogmatizálása ellen, amely ezen elvből valamiféle vallásos hittételt csinált.

A szóban forgó elvvel kapcsolatos, egyáltalán nem ritka álláspont illusztrálására hadd említsem meg egy nemrég lefolyt beszélgetésemet. Egy jól ismert fizikusnak egy kísérlet elvégzését ajánlottam, melynek célja az egyik alapvető relativisztikus formulának az eddigieknél pontosabb igazolása lett volna. Javaslatomra a következő meglepő választ kaptam: „Egyetlen fizikus sem kételkedik a relativitáselmélet érvényességében."

A relativitási elv

24. §. A Michelson—Morley-típusú kísérletek negatív eredményét Einstein a relativitási elvvel magyarázta. Ezt az elvet a következőképpen fogalmazhatjuk meg:

A természeti törvények olyanok, hogy különböző megfigyelők számára ugyanolyan alakban jelentkeznek.

Az itt kimondott elv első pillanatra triviális kijelentésnek látszik. Ha ugyanis a természeti törvények objektívek, akkor alakjuknak, természetesen, függetlennek kell lenniök az észlelőtől. A relativitási elv igazi tartalmát azonban ez az értelmezés félreérti. A valóságban ugyanis a „megfigyelő" kifejezés vonatkoztatási rendszert jelent, a maga saját „idejével". A relativitási elv, ezek szerint, valóban nagyon mélyenjáró állítást juttat kifejezésre a természeti törvények formáját illetően.

A relativitási elvben rejlő és a természeti törvények alakjára vonatkozó tényleges állítás megbúvik az idealista terminológia mögött, amelynek kifejezésmódja annak irányába vonja figyelmünket, mit *látnak* a különböző észlelők, ahelyett, hogy világosan kijelentené: mi is történik valójában, bármiféle észlelő jelenlététől vagy távollététől függetlenül. A természeti törvényeket ki lehet és ki is kell fejezni olyan formában, amely nem tartalmaz semmiféle utalást megfigyelőkre.

Az Einstein-féle relativitási elv kritikája

25. §. Ha bizonyos ténylegesen elvégzett kísérleteket a relativitási elv Einstein által megadott megfogalmazásának segítségével akarunk értelmezni, azt találjuk, hogy ez az elv magában erre a célra még nem elegendő. Valóban, ha végiggondoljuk a Michelson—Morley-féle vagy bármely más, valamilyen relativisztikus effektust kimutató kísérletet, mindig csak *egy észlelő* van jelen,

aki megállapítja, mi is történik egy bizonyos fizikai rendszerrel, miközben a rendszert behatások érik. Az a kérdés, amelyre a relativitáselmélet feleletet ad, nevezetesen, hogy *egy és ugyanaz a jelenség* mily módon jelentkezik *két különböző észlelő* számára, a valóban elvégzett kísérletek értelmezése során soha nem merül fel.

26. §. Tekintsük például a Michelson—Morley-féle kísérletet. Az interferométert úgy állítjuk be, hogy bizonyos interferencia-csíkokat mutasson. Ezután a berendezést 90 fokkal elforgatjuk, és az észlelő megfigyeli, vajon az elfordítás befolyásolta-e az optikai sávok rendszerét, vagy nem. Emellett a kísérletet több hónapos időközökben megismételjük, annak megállapítása céljából, hogy a kísérlet eredménye ugyanaz marad-e, miközben a Föld a pályasebessége irányát megváltoztatja.

Ezek szerint azt figyeljük meg, hogy mi történik az interferométerrel, midőn *a)* a Föld mozgási irányához képest elfordítjuk, *b)* ha az interferométer transzlációs mozgásának állapota a Föld transzlációs mozgásával együtt változik meg.

Ha a Michelson—Morley-féle kísérlet eredményét szigorúan véve a relativitási elv fogalmaival akarjuk megmagyarázni, szembe kerülünk azzal a nehézséggel, hogy maga az elv csak arra vonatkozólag tartalmaz állítást, milyen is az interferométer két különböző megfigyelő szempontjából (legyen az egyik például a Földön, a másik pedig egy másik bolygón). Nem fejez ki viszont semmilyen állítást arra vonatkozóan, mit lát *egy és ugyanazon* észlelő, midőn az interferométer *elforog* — illetve, pontosabban, arra vonatkozóan, mi is *történik* az interferométerrel, miközben elfordul.

27. §. A fenti nehézséget Einstein azzal a kijelentésével küszöböli ki, hogy nem jelent semmi különbséget, vajon a készülék mozog-e a megfigyelőhöz viszonyítva, vagy a megfigyelő mozog-e a berendezéshez képest. Így, Einstein szerint, a Michelson-féle interferométer elfordításának hatása levezethető annak figyelembevételével, hogy a két megfigyelő hogyan látná ugyanazt a készüléket abban az esetben, ha a második megfigyelő — feltevés szerint — az elsőnek „körbeforgatott mása" lenne.

A fenti gondolkodásmód jellemző a pozitivista módszerre, amely a megfigyelőt összezavarja azokkal a készülékekkel, amelyeken a megfigyelőnek észlelnie kell. Valóban, ha Einstein arról beszél, hogy a megfigyelő elfordult, arra gondol, hogy a megfigyelő rendelkezésére álló mérőműszerek fordultak el; így hallgatólag azt teszi fel, hogy a műszer változásai által előidézett változás ugyanaz, mint amely akkor lép fel, ha nem a műszereket, hanem a megfigyelt rendszert mozgattuk volna.

Emellett az az eljárás, amely egy fizikai rendszerrel kapcsolatos történéseket feltételezett észlelők által látottak segítségével fejez ki, jellemző a pozitivista módszerre.

Még akkor is, ha eltekintünk a pozitivista fogalmak használatától, maradnak Einsteinnel szemben egészen más természetű ellenvetések is.

Először is, fizikai szempontból különbség van aközött, hogy az interferométert vagy az észlelőt forgattuk-e körbe, és ez a különbség olyan természetű, hogy még a pozitivistának is valóságosnak kell elfogadnia. Valóban, a Sagnac-kísérlethez hasonló kísérlet útján közvetlenül meg lehet állapítani, vajon az interferométert vagy az észlelőt forgattuk-e körbe.

Másodszor, az interferométert nagyon is gondosan kell forgatnunk ahhoz, hogy forgás közben ne zavarjuk meg a beállítását. Ezzel kapcsolatban nagyon

érdekes elolvasni a kísérlet során foganatosított tényleges óvóintézkedések részletes leírását.

Ha a készüléket nem kellő óvatossággal forgatjuk körbe, a forgatás elrontja a beállítást, és az interferenciacsíkok vagy eltolódnak, vagy teljességgel el is tűnhetnek. Az interferométer körbeforgatásakor számításba kell vennünk, ezek szerint, a készülék mechanikai tulajdonságait, és törekednünk kell arra, hogy elkerüljünk minden perturbációt, és így szignifikáns eredményt kapjunk.

28. §. Ha most nem a készüléket, hanem a megfigyelőt kellene körbeforgatnunk, akkor figyelmünket természetesen nem a készülékre, hanem arra kellene koncentrálnunk, hogy a megfigyelőt ne érje károsodás az elforgatás közben. Ez természetesen visszás kép, amely a berendezés mechanikai és optikai tulajdonságait a megfigyelő tulajdonságaira vetíti.

Teljesen világosnak látszik, hogy a Michelson-féle kísérlet értelmezésére inkább egy fizikai rendszer (pl. az interferométer) mechanikai és dinamikai sajátosságaira nézve kell bizonyos kijelentést tennünk, mint a hipotetikus megfigyelők által látottakra vonatkozóan.

A fenti jellegű fejtegetést megismételhetjük a relativitáselmélet támogatására felhozható minden kísérletre vonatkozóan — magam részéről más helyütt[4] ennek a kérdésnek meglehetősen részletes elemzését adtam meg, és ennek részleteit itt nem kívánom megismételni.

II. RÉSZ

A Lorentz-elv

29. §. A következőkben meg fogjuk fogalmazni a Lorentz-elvet, tehát azt az elvet, amellyel, véleményünk szerint, az Einstein-féle relativitási elvet helyettesítenünk kell.

Tekintsünk egy zárt fizikai rendszert, amelyet **Q**-val jelölünk. Tegyük fel, hogy a rendszer a $Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ pontokban elhelyezett részecskékből áll. A részecskék kölcsönhatásban vannak, és ennek következtében mozognak. (Az egyszerűség kedvéért nem tételezzük fel, hogy a részecskék sugárzást bocsátanak ki, bár meggondolásaink sugárzó rendszerekre is kiterjeszthetők.) A részecskék koordinátái a K_0 rendszerben a következők legyenek:

$$x_\nu(t), \quad y_\nu(t), \quad z_\nu(t), \quad \nu = 1, 2, \ldots, n.$$

A **Q** rendszert alkotó n számú pont $3n$ számú koordinátája helyett röviden a $K_0(\mathbf{Q})$ kifejezést is írhatjuk. Valamennyi koordinátát az idő függvényének tekintjük. Így a $K_0(\mathbf{Q})$ kifejezés a következő $3n$ számú függvényt foglalja össze:

$$x_1(t), \; y_1(t), \ldots, z_n(t).$$

Ha most egy K-val jelölt másik Lorentz-rendszert tekintünk, azaz egy olyan rendszert, amely transzlációs mozgást végez K_0-hoz képest, és amelyben az órákat és a távolságokat a 9. §-ban leírt módon állítottuk be, a **Q** pontrendszernek K-ra vonatkozó koordinátáit a K_0-ra vonatkozó koordinátákból Lorentz-transzformáció útján kapjuk meg, azaz (a 14. § jelöléseit alkalmazva) azt írhatjuk, hogy

$$K(\mathbf{Q}) = L_v\left(K_0(\mathbf{Q})\right). \tag{10}$$

Ha a K rendszer a 14. §-ban tárgyalt relatív mozgást végzi a K_0-hoz képest, akkor (10) a következő egyenletrendszer helyett áll:

$$\left.\begin{aligned} x_\nu(t') = \frac{x_\nu(t_\nu) - vt_\nu}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y'_\nu(t') = y_\nu(t_\nu) \\ z'_\nu(t') = z_\nu(t_\nu), \end{aligned}\right\}, \tag{11}$$

ahol a jobboldalon fellépő t_ν értékét úgy kell meghatároznunk, hogy kielégítse a

$$t' = \frac{t_\nu - vx_\nu(t_\nu)/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{12}$$

összefüggést $\nu = 1, 2, \ldots, n$ esetére. Így eljutottunk a $Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ pontok új koordinátáihoz. A (11)-ből és a (12)-ből láthatjuk, hogy a Q_ν pontok K-ra vonatkozó $K(\mathbf{Q})$ koordinátái ugyanazon pontok K_0-ra vonatkozó $K_0(\mathbf{Q})$ koordinátáinak lineáris kombinációi, az egyes $Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ pontok koordinátáit azonban a K_0-ra vonatkozó különböző $t_1, \ldots, t_n$ időpontokban kell figyelembe vennünk, hogy így megkapjuk a K rendszerre vonatkozóan a rögzített t' időponthoz tartozó koordinátákat. Itt t'-t a 9. §-ban leírt konkrét módszerrel szinkronizált órák segítségével mérjük.

30. §. Egy másik eljáráshoz is eljuthatunk a Lorentz-transzformáció segítségével. A $\mathbf{Q}$ pontok $K_0(\mathbf{Q})$ koordinátáit Lorentz-transzformációnak vethetjük alá, és az így nyert transzformált koordinátákat az eredeti K_0 rendszerre vonatkozóan új pontok koordinátáinak foghatjuk fel.

Ennek az eljárásnak a segítségével a $\mathbf{Q}$ pontrendszer koordinátáiból egy *másik* $\mathbf{Q}'$ pontrendszer koordinátáit származtatjuk le. Röviden azt írhatjuk, hogy

$$\mathbf{Q}' = \mathbf{L}_\mathbf{w}(\mathbf{Q}), \tag{I}$$

ahol az $\mathbf{L}_\mathbf{w}$ szimbólum az $L_\mathbf{w}$-vel matematikailag azonos transzformáció kifejezésére szolgál. Az $L_\mathbf{w}$ szimbólum helyett itt azért használtunk $\mathbf{L}_\mathbf{w}$-t, hogy ezáltal kifejezzük: az (I) transzformáció nem egy és ugyanazon pontrendszernek két vonatkoztatási rendszerben mért koordinátáit köti össze, hanem két különböző, $\mathbf{Q}$ és $\mathbf{Q}'$ pontrendszer egy és ugyanazon vonatkoztatási rendszerben mért koordinátáit.

A $\mathbf{Q}$ és $\mathbf{Q}'$ pontrendszerek között fennálló és a két rendszernek K_0-ra vonatkozó $K_0(\mathbf{Q})$ és $K_0(\mathbf{Q}')$ koordinátáival kifejezett (I) összefüggés a következő alakú:

$$K_0(\mathbf{Q}') = \mathbf{L}_\mathbf{w}(K_0(\mathbf{Q})). \tag{II}$$

Hangsúlyoznunk kell, hogy (I) a két fizikai rendszer közötti fizikai kapcsolatot fejezi ki, és ez a kapcsolat önmagában független a koordináták bevezetésének módjától. Ezért, hogy az (I) kapcsolat objektív jellegét hangsúlyozzuk, a következőkben azt fogjuk mondani, hogy a $\mathbf{Q}'$ és $\mathbf{Q}$ pontrendszerek között Lorentz-kapcsolat áll fenn, valahányszor közöttük érvényes a (I) összefüggés. Mivel fizikai jellegű összefüggéseket más módon, mint koordináták alkalmazásával nem tudunk kifejezni, be kell vezetnünk a (II)-t, amely (I)-et meghatározott koordináták segítségével fejezi ki.

31. §. Ezekután a Lorentz-elvet a következő módon fogalmazzuk meg: *A természeti törvények olyan jellegűek, hogy ha* $\mathbf{Q}$ *egy valóságos fizikai rendszert*

ír le, akkor a $\mathbf{Q}$ *bármely* $\mathbf{Q}' = \mathbf{L}_{\mathbf{w}}(\mathbf{Q})$ *Lorentz-transzformáltja ismét egy, a természeti törvényeknek megfelelő rendszert ír le.*

Ezt az elvet a következőképpen is kimondhatjuk: *A természet törvényei Lorentz-invariánsak.* Ezt a rövidebb megfogalmazást az első, pontosabb szövegezés szellemében kell értenünk. A Lorentz-invarianciát itt inkább a törvények formája matematikai sajátságának kifejezésére használjuk, nem pedig fizikai mértékszámok valamilyen koordináta-transzformáció során tanúsított változásának kifejezésére.

Jól ismert tény, hogy például a Maxwell-egyenletek a fenti értelemben Lorentz-invariánsak.

Az így megfogalmazott Lorentz-elv a természeti törvények lehetséges alakjaira nézve megszorítást tartalmaz, anélkül azonban, hogy e törvények részleteit pontosan meghatározná.

32. §. Megnyugtató az a körülmény, hogy az ily módon kifejezett Lorentz-elv független az általunk használt speciális koordinátarendszertől, feltéve, hogy választásunkban csupán Lorentz-rendszerekre szorítkozunk.

Valóban, ha a $\mathbf{Q}'$ és a $\mathbf{Q}$ rendszer koordinátáit (II) köti össze, azaz ha a $\mathbf{Q}'$ pontrendszernek K_0-ra vonatkozó $K_0(\mathbf{Q}')$ koordinátáit a $\mathbf{Q}$ pontrendszer K_0-ra vonatkozó $K_0(\mathbf{Q})$ koordinátáiból valamilyen Lorentz-transzformáció útján kapjuk meg, akkor a $\mathbf{Q}$ és a $\mathbf{Q}'$ pontrendszer egy másik, K koordinátarendszerre vonatkozó $K(\mathbf{Q}')$ és $K(\mathbf{Q})$ koordinátái között hasonló kapcsolat fog fennállni. Ennek bizonyítására megjegyezzük, hogy a 15. §-nak megfelelően, a következő összefüggések állnak fenn:

$$K_0(\mathbf{Q}) = L_{\mathbf{v}}\big(K(\mathbf{Q})\big) \quad \text{és} \quad K_0(\mathbf{Q}') = L_{-\mathbf{v}}\big(K(\mathbf{Q}')\big). \tag{13}$$

Ha a (13) kifejezést a (II)-be vezetjük, és az ily módon kapott egyenlet mindkét oldalára vonatkozóan alkalmazzuk az $L_{\mathbf{v}}$ transzformációt, azt kapjuk, hogy

$$K(\mathbf{Q}') = L_{\mathbf{v}}\,\mathbf{L}_{\mathbf{w}}\,L_{-\mathbf{v}}\big(K(\mathbf{Q})\big). \tag{14}$$

Ezek szerint a $K(\mathbf{Q}')$-t a $K(\mathbf{Q})$-ból három Lorentz-transzformáció, nevezetesen az $L_{-\mathbf{v}}$, az $\mathbf{L}_{\mathbf{w}}$ és az $L_{\mathbf{v}}$ egymás után való alkalmazása útján kapjuk meg. Mivel pedig Lorentz-transzformációk egymás utáni alkalmazása újból Lorentz-transzformációra vezet, a (14) helyett a következőt írhatjuk:

$$K(\mathbf{Q}') = \mathbf{L}_{\mathbf{w}*}\big(K(\mathbf{Q})\big), \tag{15}$$

ahol az $\mathbf{L}_{\mathbf{w}*}$-gal a következő Lorentz-transzformációt szimbolizáljuk:

$$\mathbf{L}_{\mathbf{w}*} = L_{\mathbf{v}}\mathbf{L}_{\mathbf{w}}L_{-\mathbf{v}}.$$

A (15) egyenlet szerint a $\mathbf{Q}'$ *pontrendszer* $K(\mathbf{Q}')$ *koordinátáit a* $K(\mathbf{Q})$ *koordináták Lorentz-transzformáltjaiként kapjuk meg, ha a* $\mathbf{Q}'$ *pontrendszer* $K_0(\mathbf{Q}')$ *koordinátáit ugyanilyen módon kapjuk meg* $K_0(\mathbf{Q})$*-ból.*

Ezek szerint a $\mathbf{Q}$ és a $\mathbf{Q}'$ pontrendszer azon sajátsága, hogy a Lorentz-transzformáció kapcsolja őket össze egymással, olyan tulajdonság, amely e rendszerek alkotóelemeinek tetszőleges Lorentz-rendszerre vonatkozó koordinátáiban tükröződik.

33. §. Példaképpen a következő egyszerű esetet adjuk meg. Tegyük fel, hogy a $\mathbf{Q}$ rendszer csak a Q_1-gyel és a Q_2-vel jelzett két részecskéből áll, továbbá, hogy belső erők, nyugalmi állapotban, a két pontot egymástól l távolságban

tartják. Ezt a rendszert a továbbiakban „rúdnak" fogjuk nevezni, mivel a rúd igen durva modelljeként fogható fel.

Egy alkalmasan választott K koordinátarendszerhez képest a két pont koordinátái a következők:

$$\left.\begin{aligned} x_1(t) &= y_1(t) = z_1(t) = 0, \\ x_2(t) &= l,\ y_2(t) = z_2(t) = 0 \end{aligned}\right\}. \tag{16}$$

Ha (*16*)-ot Lorentz-transzformációnak vetjük alá, megkapjuk a Q_1' és a Q_2' pont koordinátáit; e két új pont, éppen a Lorentz-elv értelmében, szintén egy lehetséges **Q** konfigurációt alkot.

Ha a (*4*) által megadott speciális transzformációt alkalmazzuk, a Q_1' és a Q_2' pontra nézve, a t időpontra vonatkozóan a következő koordinátákat kapjuk:

$$x_1'(t) = -vt,$$

$$x_2'(t) = -vt + l\sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Ezek szerint a **Q**′ rendszer az x tengely mentén $-v$ sebességgel mozog, és az egymástól l' távolságban levő két pontból áll, ahol is

$$l' = x_2'(t) - x_1'(t) = l\sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Mint látjuk, a **Q**′ mozgó rúd hossza $\sqrt{1 - v^2/c^2}$-szer rövidebb, mint a megfelelő **Q** nyugvó rúdé.

Ezek szerint a Q_1 és a Q_2 pontot a rúd nyugvó helyzetében l távolságban rögzítve tartó Lorentz-invariáns erők a rövidebb $l\sqrt{1 - v^2/c^2}$ távolságban fogják tartani, amennyiben a rúd $-v$ sebességgel önmagával párhuzamosan mozog.

34. §. Meg kell még jegyeznünk, hogy a **Q** és a **Q**′ rendszert bármely más Lorentz-rendszerből is tekinthetjük, így pl. abból a K rendszerből is, amelyben a **Q**′ rendszer nyugalomban levőnek látszik.

Az utóbbi vonatkozási rendszerben az a tulajdonság, hogy a **Q**′ fizikai rendszert a **Q** rendszer transzformáltjaként kaphatjuk meg, továbbra is fennmarad. Mivel azonban a K rendszerben az órákat és a távolságokat speciális módon állítottuk be, ezért a K rendszer távolság- és időmérőszámainak alkalmazása esetén a **Q**′ rúd látszik hosszabbnak és a **Q** rövidebbnek.

A Lorentz-elv és a relativitási elv matematikai egyenértékűsége

35. §. Kimutatjuk, hogy a fentiekben megfogalmazott Lorentz-elv matematikai szempontból ekvivalens a relativitási elvvel. Ti. ha bármilyen effektust részletesen kiértékelünk, azonos numerikus eredményre jutunk, attól függetlenül, hogy számításunkat a Lorentz-elvre vagy a relativitási elvre alapozzuk-e.

Először is, ha két megfigyelő, akik egyike a K_0, másika a K rendszerrel mozog, egy és ugyanazt a **Q** fizikai rendszert szemléli, akkor, különböző szempontjuknak megfelelően, az első megfigyelő a $K_0(\mathbf{Q})$ koordinátákat, a másik pedig a $K(\mathbf{Q}) = L_v(K_0(\mathbf{Q}))$ koordináta-értékeket észleli. A **Q** rendszer K-ból észlelt koordinátái pontosan azonosak a $\mathbf{Q}' = \mathbf{L}_v(\mathbf{Q})$ rendszer K_0-ból

konstatált koordinátáival. Ennek az összefüggésnek alapján a következő gondolatmenetet követhetjük végig.

A **Q** rendszer egy mozgó megfigyelő számára olybá tűnik, mintha **Q'** típusú rendszer volna. Mivel azonban a Lorentz-elv értelmében **Q** és **Q'** ugyanazon törvényeknek engedelmeskedik, a **Q** rendszert analizáló mozgó megfigyelő ugyanazt a törvényszerűséget fogja észlelni, mint a **Q** rendszert analizáló K_0-beli megfigyelő. Ilyen módon a Lorentz-elvből — formailag — eljuthatunk a relativitási elvhez.

Másodsorban azonban fontolóra kell vennünk azt is, mi történik akkor, ha a **Q** rendszert és a megfigyelőt egymáshoz képest gyorsítjuk. Ekkor két eset lehetséges. Ha (megfelelően óvatos módszerrel) a **Q** rendszert gyorsítjuk, akkor ez a **Q'** rendszerbe megy át. Ha viszont a „megfigyelőt" gyorsítjuk, akkor a **Q** rendszer nem szenved változást, ellenben a megfigyelő (helyesebben a mérőműszerei) igen.

Az elmondottak jobb megértése céljából megjegyezzük, hogy a „megfigyelő" a valóságban nem más, mint egy vonatkoztatási rendszer. Ha egy, órákból és mérőrudakból mechanikai rendszerré összekapcsolt K_0 rendszert gyorsítunk, torzulásokat fog szenvedni. Amennyiben a gyorsítást alkalmas módon hajtjuk végre, a K_0 rendszer a gyorsítás eredményeképpen a K-ba megy át. A gyorsítás révén K-vá alakult rendszerből nézve a **Q** pontrendszer **Q'** formában fog jelentkezni. (Pontosabban szólva: a **Q** pontrendszer koordinátái a K-ban mérve egyenlők lesznek a **Q'** rendszernek a K_0 vonatkoztatási rendszerben mért koordinátáival.)

Ha a K_0 rendszerből a K rendszerbe gyorsított megfigyelő úgy tesz, mintha eközben műszereivel semmi sem történt volna, akkor le kell vonnia azt a következtetést, hogy az észlelt **Q** rendszer ment át változáson.

Tisztán formális úton (amint Einstein is tette) ugyanarra az eredményre vezet, akár a **Q** rendszert gyorsítjuk fel v sebességre, akár a vonatkoztatási rendszert gyorsítjuk $-v$ sebességre. Ha most feltesszük — mint ahogyan fel is kell tennünk —, hogy a Lorentz-elv nemcsak a **Q** rendszerre, hanem a megfigyelő által a feltevés szerint használt műszerekre is érvényes, akkor eljutunk Einstein állításának a Lorentz-elv alapján való megértéséhez.

A jelenség megmagyarázása szempontjából természetesnek látszik az a feltevés, hogy fizikai változást csak a rendszer gyorsított része szenved, azaz vagy a **Q** pontrendszer, vagy a vonatkoztatási rendszer, aszerint, hogy közülük melyiket gyorsítottuk.

Az a körülmény, hogy az eredmény független attól, hogy **Q**-t gyorsítottuk-e bizonyos irányban, vagy K_0-t az ellenkező irányban, nem homályosíthatja el azt a tényt, hogy két különböző folyamatról van szó.

Fenti meggondolásainkban hallgatólag feltételeztük, hogy az óvatosan gyorsított rendszer a Lorentz-transzformáltjába megy át. Ezt a feltevést a 40. §-ban részletesebben fogjuk analizálni.

36. §. Érdekes megjegyeznünk, hogy már Lorentz is kommentálta azt a problémát, mi módon is kell a megfigyelő műszereinek megváltozniok, ha a megfigyelő vonatkoztatási rendszere megváltozik. Idézünk Lorentz cikkéből (l. a 14. lábjegyzetet):

„Ha az A megfigyelő az első, a B megfigyelő pedig a második vonatkozási rendszerben tartózkodik, és mindegyik olyan mérőlécekkel és órákkal rendelkezik, amelyek az ő saját rendszerében nyugszanak, akkor A az x, y, z, t értékeket, B pedig az x', y', z', t' értékeket fogja mérni, amikor is meg kell

jegyeznünk, hogy A és B ugyanazokat az órákat is használhatja. Fel kell tételeznünk, hogy ha az első megfigyelő a mérőlécet és az órát valamilyen módon a második kezébe játssza át, akkor ezek maguktól felveszik a helyes hosszúságot, illetve a helyes járást, úgy hogy B a maga méréseiből az x', y', z', t' értékeket fogja megkapni."

Lorentznek az a megjegyzése, hogy az egyik rendszerből a másikba menet a mérőrudakat és órákat át kell adni, „kézre kell átjátszani", és hogy ezen eljárás során ezek változást szenvednek, fentebb tett megjegyzésünket tükrözi. Nevezetesen tartalmazza a $K = \mathbf{L}_v (K_0)$-val kifejezett állításunkati ahol K_0-t most az órák és a rudak átadás előtti, a K-t pedig a gyorsítás után, fizikai rendszerének tekintjük.

A fénysebesség szerepére vonatkozó megjegyzések

37. §. Röviden visszatérünk arra a kérdésre, mi az előnye a Lorentz-rendszerek vonatkoztatási rendszerekként való bevezetésének.

Néha találkozunk azzal az állítással, hogy óráknak fényjelek útján történő szinkronizálása azért előnyösebb más módszernél, mivel a fénysebesség bármely más hatás terjedésének sebességét felülmúlja. Véleményünk szerint ez az okoskodás téves. Ha rendelkezésünkre is állnának a fényjelektől különböző más jelek, amelyek $C > c$ sebességgel terjednek, mégsem lenne ajánlatos szinkronizálás céljából fénynél gyorsabban terjedő jeleket alkalmazni (lásd J. Builder-t is).[15] Természetesen semmi különbséget nem jelent az, hogy a K_0 kitüntetett rendszer óráinak szinkronizálására milyen jellegű jeleket alkalmazunk. Ha azonban a mozgó rendszerben szinkronizáltuk az órákat, akkor a K rendszer óráinak állása annál kevésbé fog eltérni a K_0-éitől, minél nagyobb a szinkronizálásra használt jelek terjedési sebessége. Ilyen értelemben a fénysebességnél nagyobb sebességgel terjedő jelekkel szinkronizált rendszer kevésbé fog eltérni a kitüntetett rendszertől, mintha fényjelekkel szinkronizáltuk volna. Felületesen szemlélve a dolgokat, ezt a körülményt talán előnyösnek tekinthetnők. Az ilyen szinkronizálási eljárás hátrányát azonban beláthatjuk a következő módon.

Jelöljünk $\widetilde{K}$-val egy olyan rendszert, amely a Lorentz-rendszerrel azonos mozgásállapotú, de amelynek óráit és távolságait fénysebességnél gyorsabb jelekkel szabályoztuk. A $\widetilde{K}$ rendszer használata, azon előnye mellett, hogy órái, bizonyos értelemben, pontosabbak, mint a K rendszeréi, azzal a nagy hátránnyal jár, hogy a $\mathbf{Q}$ és a $\mathbf{Q}'$ rendszerek $\widetilde{K}(\mathbf{Q})$ és $\widetilde{K}(\mathbf{Q}')$ koordinátái között nem fog fennállni Lorentz-transzformáció. Valóban, könnyen beláthatjuk, hogy

$$\widetilde{K}(\mathbf{Q}') = \widetilde{L}_v \, \mathbf{L}_w \, \widetilde{L}_{-v}(K(\mathbf{Q})), \tag{17}$$

ahol $\widetilde{L}$ azt a transzformációt jelzi, amelyet a Lorentz-transzformációból c-nek C-vel való helyettesítése útján kapunk. Mivel az $\widetilde{L}$ és az $\mathbf{L}$ transzformáció nem azonos alakúak, a (17) egyenlet jobb oldalán álló operátorok szorzata sem ad Lorentz-transzformációt. Ezek szerint azt látjuk, hogy a $\mathbf{Q}$ és a $\mathbf{Q}'$ rendszer közötti (I)-es Lorentz-kapcsolat nem válik nyilvánvalóvá, ha e rendszerek koordinátáit nem Lorentz-rendszert alkotó vonatkoztatási rendszerekhez képest adjuk meg. Valóban, a (II) explicit egyenlet nem érvényes $\widetilde{K}$ rendszer-

[15] *G. Builder :* Superluminal Propagation and Relativity Theory (kézirat).

ben mért koordináták esetére. A fentiekből láthatjuk: a Lorentz-rendszer fontos sajátsága az, hogy két fizikai rendszer Lorentz-kapcsolatát közvetlenül tükrözi.

38. §. Az előbbiekben tehát azt találtuk, hogy az óráknak fényjelek segítségével történő szabályozásával olyan vonatkoztatási rendszereket kapunk, amelyek kiválóan alkalmasak fizikai rendszerek leírására, mivel e vonatkoztatási rendszerek hozzáidomulnak a fizikai rendszerek dinamikus tulajdonságaihoz. Ha abban a helyzetben lennénk, hogy a fénynél gyorsabb jelek segítségével a vonatkoztatási rendszereket a Lorentz-rendszereknél „jobban" tudnánk beállítani, az ily módon szabályozott rendszerek mérőszámainak rendszere közelebb esnék ugyan a K_0-éhoz, de e mértékrendszerek számunkra alkalmatlanok volnának, mivel az ily módon nyert mértékrendszerben megállapított mérőszámok nem tükröznék a Lorentz-invariancia szerepét a természeti törvények struktúrájában.

Ezt az eredményt a következő módon is kifejezhetjük: a fénysebesség nem azért játszik fontos szerepet, mivel történetesen ez a legnagyobb ismert sebesség, hanem amiatt, mert c olyan mennyiség, amely a természet fizikai törvényeiben explicite is fellép

A Lorentz-elvre vonatkozó megjegyzések

39. §. Midőn a Lorentz-elvet elfogadjuk, módszertanilag annak az eljárásnak pontos analogonját követjük, amelyet például az energiamegmaradás elvének megfogalmazásánál is követtek.

Valóban, az energiamegmaradási törvény felállításához vezető első lépés az volt, hogy számos kísérlet negatív eredményéből levonták a következtetést: perpetuum mobilet szerkeszteni lehetetlen. A következő lépés az energiamegmaradási elv kimondása volt.

A relativitáselmélet esetében a negatív eredménnyel járó kísérletek eredményeképpen posztulálnunk kell a transzlációs mozgás okozta effektusok kimutatásának lehetetlenségét. Ebből a posztulátumból vezethető le a Lorentz-elv, amely a természet lehetséges törvényeire nézve ugyanolyan módon szolgáltat keretet, mint az energia megmaradásának elve.

A két eljárásnak, az energiamegmaradási törvénynek és a Lorentz-elv felállításának, a következő közös jellegzetessége van: ha egyszer találnánk bizonyos fizikai folyamatot, amely nem engedelmeskedik az energia megmaradási törvényének, akkor ez a folyamat korlátozza ugyan a megmaradási törvény érvényességi körét, ugyanakkor azonban nem csökkentené jelentőségét érvényességi körén belül. Hasonlóképpen: bármily effektus, amely eltérne a Lorentz-invarianciától, nem befolyásolná a Lorentz-elv jelentőségét, mivel érvényességi körének széles tartománya már előzetesen bebizonyosodott.

Az adiabatikus gyorsulás fogalma

40. §. A Lorentz-elv formai korlátokat szab a fizikai törvények számára, anélkül hogy konkréten megadná ezeket a törvényeket. Ennélfogva, ha tudni akarjuk, mi is történik egy fizikai rendszerrel, ha valamilyen gyorsuló mozgásnak vetjük alá, a Lorentz-elv nem elegendő arra, hogy pontos választ kapjunk.

Valóban, ha egy, eredetileg nyugalmi állapotban levő **Q** fizikai rendszert úgy gyorsítunk, hogy a gyorsítás eredményeképpen a rendszer v sebességre

tegyen szert, akkor elképzelhető, hogy a gyorsítás eredményeképpen, a $\mathbf{Q}' = \mathbf{L}_v(\mathbf{Q})$ rendszerbe megy át, de, ugyanezen oknál fogva, egy másik rendszerbe is átmehet. Ha egy **Q** rendszert kellő óvatosság nélkül gyorsítunk, a rendszer különböző jellegű deformációkat szenved, és ily módon eljárva a gyorsítás után egy a **Q**′-től különböző rendszert kaphatunk.

41. §. Hogy tisztábban lássuk, milyen változásokat is okozhat **Q** gyorsítása, megemlítjük, hogy a **Q** rendszer természetszerűen sokféle olyan deformációnak alávethető, amely nem azonos egy a test minden pontjára egyenlően ható gyorsítás okozta deformációval. Amennyiben a **Q** rendszer rúd, az darabokra törhető, elcsavarható és deformálható a legkülönbözőbb módokon, sőt forgásba is hozható saját tengelye körül. Jelöljük a **Q** rendszer lehetséges deformált állapotait az **R**, **S**, . . . szimbólumokkal.

A **Q** rendszer gyorsítása folyamán e deformációk mindegyike felléphet a gyorsító erők hatásának eredményeképpen, és így várható, hogy a gyorsítás befejezése után a **Q** rendszer a következő konfigurációk valamelyikébe megy át:

$$\mathbf{Q}' = \mathbf{L}_v(\mathbf{Q}), \quad \mathbf{R}' = \mathbf{L}_v(\mathbf{R}), \quad \mathbf{S}' = \mathbf{L}_v(\mathbf{S}), \ldots$$

A Lorentz-elvből mindössze az következik, hogy a gyorsítás eredménye olyan rendszer lesz, amely a **Q** rendszer deformált vagy — esetleg — eredeti alakjának Lorentz-transzformáltja.

42. §. Ténylegesen elvégzett kísérletek értelmezése céljából a Lorentz-elvet ki kell egészítenünk egy arra vonatkozó hipotézissel, hogy egy elegendően óvatosan gyorsított **Q** rendszer valóban a rendszer **Q**′-vel jelölt Lorentz-transzformáltjába megy át. Az „elegendően óvatosan" kifejezés helyett azt is mondhatjuk, hogy egy *adiabatikusan* gyorsított rendszer a Lorentz-transzformáltjába megy át.

Az adiabatikus gyorsításra vonatkozólag most kimondott elv sokkal inkább korlátozó hatású, mint maga a Lorentz-elv, de — amint azt a részletes elemzés mutatja — csak bizonyos közelítésig érvényes. Előző közleményeinkben a mostaninál nagyobb részletességgel tárgyaltuk a gyorsítás folyamán beálló tényleges folyamatokat.

Megjegyezzük, hogy bármilyen kis gyorsítást is alkalmazzunk a rendszerre, relaxációs folyamatok fellépését kell várnunk. Ennek értelmében a **Q** rendszer gyorsítása befejeztével a gyorsított rendszer egyensúlyon kívüli állapotba kerül, és a végső **Q**′ állapotot csak a gyorsítás befejezése után fellépő relaxáció eredményeképpen kapjuk meg. Ezen eltérések nagyságrendje a gyorsítás mértékén kívül a **Q** rendszer *tényleges fizikai tulajdonságaitól* is fog függni. Ennélfogva az a kérdés, hogy egy adott ütemű gyorsítás adiabatikusnak tekinthető-e avagy sem, függni fog a **Q** rendszer fizikai sajátosságaitól is. S valóban, azt a gyorsítást, amelyet akkor alkalmazunk atomokra, ha a merőleges Doppler-effektust vizsgáljuk, a Michelson-interferométer nem tudja károsodás nélkül elviselni.

43. §. Ahhoz, hogy megtudjuk, milyen mértékű gyorsítás tekinthető még adiabatikusnak egy adott **Q** rendszerre nézve, tanulmányoznunk kell a szóban forgó rendszer dinamikai tulajdonságait. Az adiabatikus gyorsítás hatásaira vonatkozó hipotézis igazolásához, ezek szerint, minden egyes esetben a szóban forgó rendszer dinamikájának részletes tanulmányozására van szükség. Ilyen jellegő elemzés nem minden esetben szükséges, mivel az analízis sok esetben a perturbáció lehetséges hatásainak általános jellegű becslésévé redukálható.

A Michelson-féle interferométer esetében a kísérlet sikeres végrehajtásához elengedhetetlen az interferométerben a körülforgatás során fellépő feszültségek és perturbációk becslése, hogy elkerülhessék a berendezés gondatlan kezelésével járó sáveltolódásokat. Ez az óvatosság azért szükséges, mert az interferométer bonyolult dinamikai rendszer, amelyre alkalmazni kell a fent említett meggondolásokat. Világos, hogy. például egy túl gyors forgás vagy egy túlságosan hirtelen szögsebességváltozás nem adiabatikus változást idéz elő, és így elrontja a kísérletet.

Dinamikai megfontolások és az Einstein-féle relativitási elv

44. §. Félreértések elkerülése végett hangsúlyozzuk: a szóban forgó dinamikai meggondolásokra attól függetlenül van szükség, hogy gondolatmenetünk a Lorentz-elven vagy az Einstein-féle relativitási elven alapszik-e. És valóban, Einstein terminológiája értelmében fel kell tennünk, hogy az interferométer elforgása csak akkor ekvivalens a „megfigyelő elforgásával", ha a megfigyelőnek adiabatikus körbeforgását hasonlítjuk össze az interferométer körbeforgásával. Ily módon, az Einstein-féle felfogás szerint is, figyelembe kell vennünk az interferométer mechanikai sajátságait. Az utóbbi azonban az Einstein-féle terminológiában nem annyira nyilvánvaló, és, ennek következtében, Einstein terminológiájából kiindulva, bárki inkább a megfigyelő dinamikai tulajdonságait lenne hajlandó figyelembe venni, mint a készülékekéit. Ezt a kérdést már a 28. §-ban is tárgyaltuk. Mivel azonban annak a hipotetikus megfigyelőnek dinamikai tulajdonságai, akinek körbeforgását feltételeztük, nem befolyásolhatják a műszer körbeforgásával kapcsolatos kísérlet eredményeit, nyilvánvaló, hogy valóban csak magának a műszernek mechanikai tulajdonságai játszanak szerepet.

Ez a példa is világosan mutatja a Lorentz-elv megfogalmazásának előnyét a relativitási elvvel szemben. Teljesen világos, hogy hipotetikus megfigyelőknek a Michelson-féle kísérlet kiértékelésébe való bevonása teljesen szükségtelen fogalmi nehézségeket idéz elő anélkül, hogy valami előnye is lenne a Lorentz-elvvel szemben.

A dinamikai törvények szerepére vonatkozó meggondolások

45. §. A Lorentz-kontrakciónak Lorentz-féle felfogását kritika érte. Azt állították, hogy ez a felfogás a kísérleti eredmények értelmezésére *ad hoc* hipotézist vezet be. Saját meggondolásaimmal szemben hasonló ellenvetéseket tettek (lásd a 3. jegyzetet.). Mivel saját elgondolásaim a Lorentz-féle elgondolások természetes általánosításai, a régi és az új kritika tulajdonképpen ugyanazt tartalmazza.

A régi és az új ellenérvek lényege az az állítás, hogy magam és, ami azt illeti, Lorentz is bizonyos jelenségeket a belső erőkre vonatkozó speciális feltevésekkel magyarázunk, míg — mint mondják — mindezeket az eredményeket egyedül a relativitási elvre támaszkodva átfogó módon megkaphatjuk.

E kritikára vonatkozóan első válaszom a következő: egy gyorsításnak alávetett fizikai rendszer viselkedésének részletes vizsgálata érdekfeszítő problémája a fizikának, mivel még akkor is, ha egy általános elv alapján ismerjük, miként fog viselkedni egy gyorsításnak kitett rendszer, még mindig

érdekes marad annak a megértése, hogy ez az eredmény részleteiben hogy jött létre.

Hogy a belső erők szerepe még akkor is érdeklődésre tarthat számot, ha ismertnek tesszük fel, mi lesz működésük eredménye, az világosan kitűnik pl. Laue munkájának[16] következő állításából:

„Ha egy rudat belső állapotának fenntartásával (pl. *vákuumban*, hőközlés nélkül) nyugalmi állapotából q sebességre gyorsítunk, $\sqrt{1 - q^2/c^2}$ arányban összehúzódik . . ."

„Ez a tétel igazolja a *Fitzgerald és Lorentz* által már a relativitáselmélet előtt a *Michelson*-féle kísérlet megmagyarázására felállított *kontrakciós elméletet*, és valóban szükség van használatára, ha ennek a kísérletnek egy (a kísérleti berendezéssel — J. L.) nem együttmozgó rendszerre vonatkozó elméletét meg akarjuk adni."

„A szóban forgó tétel második fele azonban egy, a mechanika körébe vágó ítéletet tartalmaz; a test alakját meghatározó rugalmas erőket a mozgásnak úgy kell befolyásolnia, hogy azok éppen azt a megrövidülést idézzék elő."

46. §. Bár különbözők lehetnek véleményeink a tekintetben, hogy a rudak adiabatikus gyorsulás folytán bekövetkező kontrakcióját előidéző rugalmas erők erőtörvényének pontos meghatározása „érdekes" kérdés-e vagy sem, el kell ismernünk, hogy ilyen erők a természetben léteznek. Egyes fizikusok esetleg hiábavalónak tekinthetik az ezen erők meghatározását célul kitűző analízist, semmi esetre sem tekinthető azonban egy ilyen analízis „alkalmas erőket posztuláló" ad hoc eljárásnak.

Materialista szempontból a mi eljárásunk nem abból áll, hogy „a jelenségről számot adni tudó erőket tételezünk fel", hanem a jelenséget analizáljuk abból a célból, hogy megtaláljuk a rendszer atomjai közt működő erőtörvényeket. Ha a jelenségeket nem azzal a törekvéssel próbáljuk értelmezni, hogy megtaláljuk a folyamatokat szabályozó objektív törvényeket, hanem ellenkezőleg, csupán azáltal, hogy különböző alternatív hipotézisek közül kiválasztjuk azt, amely egyszerűsége miatt, vagy más hasonló szempontból, legjobban tetszik, akkor gondolkodásunk alapja valamilyen, a Mach-féle „*Denkökonomie*"-*elvhez* hasonló elképzelés lesz.

47. §. Továbbá: az a benyomásunk, hogy az anyagon belül ható erők egzakt formájának keresése nem „érdektelen", hanem a fizikának egyik legfontosabb feladata.

Az ilyen tanulmányok eredményei szükségesek különösen a szilárd állapot mechanikájának kidolgozása céljából — de érdekes vizsgálni az atommagok dinamikai tulajdonságait is —, és egy napon érdekessé válhat az elemi részek belső dinamikájának tanulmányozása is.

Ugyanezen kérdéssel kapcsolatban idézzük W. Pauli véleményét:[17]

„Vajon a fenti megjegyzések miatt teljesen el kell-e állnunk attól, hogy a Lorentz-kontrakciót atomisztikus úton igyekezzünk megmagyarázni? Véleményünk szerint erre a kérdésre NEM-mel kell válaszolni. Egy mérőrúd kontrakciója nem elemi, hanem nagyon is bonyolult folyamat. Nem menne végbe, ha az elektronelmélet törvényei, valamint az elektron kohézióját meg-

[16] *M. von Laue :* Id. mű 60—61. o.
[17] *W. Pauli :* Theory of Relativity. Pergamon Press, London 1958. 15. o.

szabó, számunkra még ismeretlen törvények nem volnának kovariánsak a Lorentz-csoporttal szemben. Mi csupán posztulálhatjuk, hogy ez így van, tudatában annak, hogy ebben az esetben az elmélet a mozgó mérőrudak és órák viselkedését atomisztikus úton meg tudja magyarázni."

Az „automatikus" kontrakció fogalma

48. §. A fizikai rendszerek belsejében ható erők pontos törvényszerűségeinek kutatásait a Lorentz-elv annyiban is segíti, hogy korlátok közé szorítja a szóba jövő lehetőségeket.

Tévedés azonban azt hinnünk, hogy a Lorentz-elv (vagy akár a vele matematikailag ekvivalens relativitási elv) konkréten megszabja a természeti törvényeket. Ez a helytelen nézet abból a körülményből fakad, hogy egyes szerzők téves módon beépítik az adiabatikus gyorsulásra vonatkozó hipotézist a Lorentz-invariancia elvébe. Valóban, gyakran, implicit vagy explicit módon, a következő hibás hipotézist állítják fel: tegyük fel, hogy a $\mathbf{Q}$ rendszert a $\mathbf{v}(0) = 0$ sebességről a $\mathbf{v}(T) = \mathbf{v}$ sebességre gyorsítjuk fel, míg a közbenső t $(0 \leqslant t < T)$ időpontokban a rendszer sebessége $\mathbf{v}(t)$ lesz. Ekkor feltételezik, hogy a közbenső t időpontban a rendszer konfigurációját a

$$\mathbf{Q}(t) = \mathbf{L}_{\mathbf{v}(t)}(\mathbf{Q}) \tag{18}$$

összefüggés adja meg, ahol $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}(0)$ jelöli a kezdeti konfigurációt, $\mathbf{L}_{\mathbf{v}(t)}$ pedig azt a Lorentz-transzformációt jelenti, amely a $\mathbf{Q}$ rendszert egy, az eredeti állapotához képest $v(t)$ transzlációs sebességgel mozgó rendszerbe viszi át. Ha a $t = T$ időpontban megvalósult végső konfigurációt

$$\mathbf{Q}(T) = \mathbf{Q}'\text{-}vel$$

jelöljük, azt látjuk, hogy, a (18) feltételezés alapján, a gyorsulás eredményeképpen a

$$\mathbf{Q}' = \mathbf{L}_{\mathbf{v}}(\mathbf{Q})$$

konfiguráció következik be.

49. §. Még a legfelületesebb analízis is azt mutatja, hogy a (18) nem tekinthető pontosan érvényesnek. Így például azt említjük meg, hogy nem veszi figyelembe a gyorsítás pontos módját. Ha a (18)-at pontosan érvényesnek tételeznénk fel, akkor fel kellene tennünk, hogy külső erőknek a tetszőleges $\mathbf{Q}$ rendszerre gyakorolt hatása csupán az erőknek az egész $\mathbf{Q}$ rendszerre integrált értékétől függ, és így ez a hatás független a külső erőknek a rendszer különböző részein való speciális eloszlásától.

Egy ilyen feltételezés azonban teljesen abszurd, és ellentmond a mechanika elemeinek.

A (18) összefüggés jelentősége adiabatikus gyorsítás esetében

50. §. A (18) összefüggés a kísérleti eredmények interpretációja szempontjából jelentőséggel bír. Valóban, a Michelson-féle vagy a Trouton és Noble által végrehajtott kísérletről csak úgy tudunk számot adni, ha feltesszük, hogy a készülék, elforgatás közben, a (18) által megszabott adiabatikus változásokat szenvedi. Hasonlóképpen fel kell tételeznünk, hogy az a gyorsulás, melyet a berendezés elszenved, és melyet a Föld görbe vonalú mozgása idéz elő, szintén

adiabatikus változásokat okoz. Ezekről a változásokról is fel kell tennünk, hogy kielégítő pontossággal írhatók le (18) segítségével.

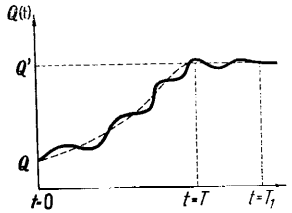
Bár a (18) összefüggés ily módon a gyakorlati alkalmazás szempontjából jelentőséggel bír, érvényességi körét nem szabad eltúloznunk, amint azt alkalmankint mégis meg szokták tenni. Ez a túlzott jelentőség összekapcsolható Einstein azon állításával, hogy „idő és tér különböző inerciarendszerek számára különböző". Ha egy **Q** rendszert úgy gyorsítunk, hogy közben állapotai az inerciarendszerek folytonos sokaságának egy-egy rendszerével essenek össze, akkor feltételezhetnénk, hogy eközben mindig automatikusan átállítja önmagát az instantán (vele pillanatnyilag összeeső) nyugalmi rendszerben érvényes „időre" és „térre", amint azt a (18) leírja.

Hogy ez a nézet helytelen, arra misztikus jellegéből is következtethetünk, nevezetesen abból, hogy eszerint „az idő és a tér a **Q** rendszer szempontjából változik". De ettől eltekintve is, ha egyszer tisztába jöttünk azzal, hogy ama változásoknak tényleges lefolyása, amelyeken a **Q** a gyorsítási folyamat során keresztülmegy, szorosan összefügg **Q** mechanikai tulajdonságaival, akkor világosan látjuk, hogy a változás megértése a rendszer tulajdonságainak dinamikus analízisét teszi szükségessé, nem pedig a térre és időre vonatkozó általános megállapításokat.

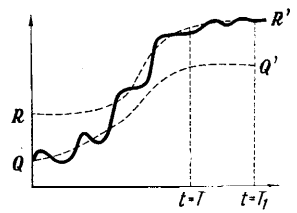
51. §. Másrészt a (18) összefüggést oly módon is lehetne védelmezni, hogy azt állítjuk: (18) az „idealizált" anyag viselkedését írja le. Ilyen kijelentés azonban nem túlságosan hasznos, mivel a kísérletek értelmezésénél a valódi anyag tulajdonságaival kell foglalkoznunk.

A (18) összefüggés valójában nem az „idealizált" anyag viselkedését írja le, hanem konfigurációk folytonos sorozatát adja meg, amelyek mindegyikébe átvihető a **Q** rendszer, és amelynek bármelyike állandósulna, ha a gyorsító erőket a gyorsítási folyamat során megfelelő pillanatban kikapcsolnánk, és alkalmat adnánk a rendszer relaxációja számára. (A részletek tekintetében lásd az (1) dolgozatomat.)

Egy gyorsítás alatt álló rendszer viselkedését sematikusan a 2. *ábrán* látható diagramon mutatjuk be, ahol is **Q**(t) -t az idő függvényeként ábrázol-



2. *ábra.*



3. *ábra.*

tuk. A kihúzott görbe a **Q** tényleges változását mutatja, a szaggatott vonal pedig a (18) összefüggést jelenti. Mint látható, a tényleges állapot a (18) által megadott egyensúlyi konfiguráció körül oszcillációkat végez. A gyorsítás megszűnése után, tehát a $t = T$ időpontban, a rendszer még mindig perturbált állapotban lesz, és csak valamivel később, pl. a $t = T_1$ időpontban, éri el relaxáció során a végső, **Q**' konfigurációt.

Ha a nyugvó rendszernek **Q**-n kívül más egyensúlyi konfigurációja is van, pl. az **R**, akkor egy tetszőleges t időpontban a gyorsított rendszer a 3. *ábrán*

szaggatott vonalakkal megadott két diagram megszabta két állapot bármelyikébe lecsillapodhat.

Ha a gyorsítást alkalmas módon visszük véghez, mindig megvalósíthatjuk, hogy a **Q** rendszer állapotainak valódi menete az alsó görbe közelében fusson, és ily módon **Q** a 2. *ábrán* látható **Q′** konfigurációba menjen át.

Ha azonban a perturbációk túlságosan nagyok, oszcillációk léphetnek fel, amelyek, bizonyos fokon túl, azt eredményezhetik, hogy a rendszer többé már nem az alsó görbe mentén fog oszcillálni, hanem a felső görbe körül. Amint azt a 3. *ábrán* sematikusan bemutatjuk, ekkor a rendszer végül nem a **Q′**, hanem a **R′** állapotban állandósul. Ez utóbbi esetben olyan viselkedésre jutunk, amely *lényegében* különbözik a (18) összefüggés alapján tárgyalttól.

A 3. *ábrán* vázlatosan megadott diagrammal azonos típusú diagram minden fizikai rendszerrel kapcsolatban megadható. Minél közelebb futnak egymáshoz a különböző lehetséges konfigurációknak megfelelő ágak, annál kisebbek lesznek azok a gyorsulások, amelyek már előidézhetik a rendszer nem adiabatikus változásait.

A valóságban elvégzett kísérletek értelmezésére vonatkozó megjegyzések

52. §. Összefoglalva: láthatjuk, hogy a Lorentz-elv segítségével a valóságban elvégzett kísérletek értelmezhetők. Ebből a célból fel kell tennünk, hogy a mérőberendezés elegendően óvatos állapotváltoztatása adiabatikus lesz, és a mozgatás révén bekövetkező effektust a (18) közelítőleg helyesen írja le.

Ha a kísérleteket ilyen módon értelmezzük, figyelembe kell vennünk a szóban forgó rendszer dinamikai tulajdonságait, s meg kell győződnünk arról, hogy a berendezés mozgatása valóban csak *adiabatikus* változásokat idéz elő. Ez utóbbi analízis a mérőberendezés meglehetősen technikai jellegű vizsgálatára vezet.

III. RÉSZ

53. §. Szükségesnek látszik, hogy röviden tárgyaljuk azt a kérdést, mi módon lehet egy sereg, Einstein által értelmezett jelenséget a Lorentz-elv segítségével megérteni.

A fénysebesség állandóságának kérdése

54. §. Egyes szerzők (pl. V. A. Fok)[18] kijelentik: a relativitáselmélet egyik eredménye az, hogy kimutatta: a fénysebesség független a fényforrás sebességétől. Véleményünk szerint ez az állítás nem felel meg a történelmi tényeknek. A fény sebessége nem függ a fényt kibocsátó forrás sebességétől, erre Maxwell az elméletéből már következtetett; e tétel a Maxwell-elmélet kikerülhetetlen következménye. Bármely elektromágneses tér változását a vákuumban konfigurációja egyértelműen megszabja, és e változás nem függ korábbi állapotaitól. Így pl. ha egyszer egy fényjel elvált forrásától, a továbbiakban a forrás mozgásállapotától függetlenül fog mozogni.

A relativitáselmélet szerepe ebben a kérdésben csupán annyi, hogy kísérleti vizsgálatokra ösztönzött, Maxwell eredményeinek megerősítésére. Valóban,

[18] *В. А. Фок:* Современная теория пространства и времени.

Ritz, a Michelson-féle kísérlet eredményének megmagyarázására, a Maxwell-elmélettel ellentmondásban, a fény terjedésére vonatkozóan felállította az úgynevezett ballisztikus hipotézist. Ritz azonban nem tudta hipotézisét ellentmondásmentesen megfogalmazni, azaz nem volt képes a Maxwell-egyenleteket olyan új formába önteni, hogy a ballisztikus hipotézissel egyező eredményekre vezettek volna. Mivel pedig a Ritz-hipotézis által ösztönzött kísérleti vizsgálatok ellentmondtak a hipotézisnek, az egész felfogást elejtették, és Maxwell elgondolásait tartották meg.

55. §. Fizeau a fény sebességét egy n törésmutatójú és v sebességgel mozgó közegben mérte, és azt találta, hogy a v sebességvektorral egy irányban terjedő fényhullám sebessége

$$V = c\left[\frac{1}{n} + \frac{v}{c}\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\right]. \tag{19}$$

Ezt az egyenletet legkönnyebben Einsteinnek a sebességek összetételére vonatkozó formulájából kaphatjuk meg, ezért Fizeau kísérletét gyakran a relativitáselmélet bizonyítékának tekintik. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a Fizeau által vizsgált effektus nem jellegzetesen relativisztikus, mivel az effektus a v/c-ben elsőrendű. Ennek következtében Fizeau eredményét már egyszerű elektrodinamikai meggondolásokkal is értelmezhetjük anélkül, hogy a relativisztikus fogalmakat explicite használnánk.

A közönséges fénytörési jelenségek elméletét úgy kapjuk meg, hogy a törő közegen áthaladó primér hullám és a törő közeg atomjai által a rajtuk áthaladó elektromágneses tér hatására emittált szekundér hullámok szuperpozícióját figyelembe vesszük. A Fizeau-kísérlet elméletét tehát úgy kapjuk meg, hogy a törő közeget alkotó sugárzó atomokról feltesszük, hogy konstans sebességgel mozognak, és a primér sugár és az így mozgó atomok sugárzásának szuperpozícióját figyelembe vesszük.

A (19) egyenletre vezető kissé fáradságos számítások lerövidíthetők oly módon, hogy felhasználjuk a sebességek Einstein-féle addiciós tételét. A számításnak ezt a lerövidítését azonban úgy is elérhetjük, ha a Lorentz-féle szemléletet alkalmazzuk; ennek keretein belül is könnyűszerrel megkaphatjuk az Einstein-féle addiciós formulát.

A tömeg és az energia ekvivalenciájának elve

56. §. Az 54. és 55. §-okban tárgyalt két jelenséget, ezek szerint, az jellemzi, hogy értelmezhetők a relativitáselmélet explicit alkalmazása nélkül. A relativitáselmélet megalkotása mindkét esetben a dolgok tisztázását segítette elő.

Most egy lényeges relativisztikus effektus tárgyalására térünk rá. A tömeg és az energia ekvivalenciájának elvét a relativitáselmélet kidolgozásával kapcsolatban találták meg, és így erről az elvről a Lorentz-elv szempontjából is számot kell adnunk.

A tömeg és az energia ekvivalenciájának elvét a Lorentz-elvből pontosan azzal analóg módon vezethetjük le, mint ahogyan, eredetileg, a relativitáselméletből származtatták. Valóban, ha a természettörvényeket Lorentz-invariánsaknak fogjuk fel, azt találjuk, hogy a klasszikus mechanika törvényei eredeti alakjukban nem mutatják ezt az invarianciát. A klasszikus kifejezések

bizonyos módosítása azonban ezen egyenleteket Lorentz-invariánssá teszi. E módosítások vezetnek el, többek között, arra az eredményre, hogy a tömeg a sebességgel együtt változik. E módosítások keresztülvitele során eljutunk a relativisztikus mechanika egyenleteire, amelyek magukban foglalják a tömegdefektus jelenségeit is.

Diracnak a pozitív elektronra vonatkozó elmélete annak a törekvésnek eredményeképpen született meg, amely az eredetileg nem Lorentz-invariáns hullámegyenlet invariánssá tételére annak újjáformálását tűzte ki célul. Így az antirészecskék elmélete éppen úgy levezethető a Lorentz-elvből, mint Einstein eredeti megfogalmazásából.

Ehelyütt nem kívánok e problémák részletes elemzésével foglalkozni.

Az éter kérdésével kapcsolatos megjegyzések

57. §. Az éter fogalmát annak a törekvésnek jegyében vezették be, hogy leírhassák azt a közeget, amelyben a fény s általában az elektromágneses jelenségek terjednek.

A múlt század folyamán e hipotetikus étert számos olyan tulajdonsággal ruházták fel, amelyek valóban metafizikusak, és ennek következtében bizonyos vonakodást érzünk ennek a múltban meglehetősen helytelen értelemben vett fogalomnak használatakor.

58. §. Azt a felfogást azonban, hogy a fény és az elektromágneses hullámok a természetben valamilyen anyagi dologhoz képest c sebességgel terjednek, akkor is fenn kell tartanunk, ha nehézségek mutatkoznak annak megállapításával kapcsolatban, hogy mihez képest is lesz c a terjedési sebesség. Az az okoskodás, hogy az éter (vagy ennek valamilyen megfelelője) azért nem létezik, mivel közvetlenül nem észlelhető, jellegzetesen pozitivista okoskodás, amelyet összevethetünk P. Jordan[19] egyik szerencsétlen érvelésével:

„Senki nem fogja *alapvetően* értelmetlennek nyilvánítani azt, ha a *Hold túlsó oldalára* vonatkozóan hipotetikus kijelentéseket teszünk. Hiszen nem szabad elutasítanunk annak a lehetőségét, hogy egy napon egy űrhajó valóban hozzáférhetővé teszi a Hold túlsó oldalát. Ezzel szemben egy pozitivista szkeptikus talán gátlásokat fog érezni, hogy az Andromeda-köd egyik állócsillagának ugyanolyan fokú realitást tulajdonítson, mint saját Napunknak."

Jordan érvelésén elgondolkodva feltehetjük azt a kérdést, vajon a Hold túlsó oldala valóban akkor kezdett-e létezni, amikor a szovjet holdrakéta elkészítette róla a híres fényképet?

De még a pozitivista gondolkodó is csak akkor tagadhatná az éter létét, ha teljesen bizonyos lenne abban, hogy az éter mozgásállapotát sem most, sem a jövőben nem fogjuk tudni észlelni. (Máskülönben csak „gátlásokat" éreznénk arra, hogy ezt megtegyük.) Hogy az éterre vonatkozóan abszolút kijelentést tehessen, Einsteinnek, ezek szerint, a kísérleti eredményeket dogmatizálnia kellett: bele kellett foglalnia feltételezésébe, hogy semmilyen jövőben elvégzendő kísérlet sem fog utalást tartalmazni az abszolút sebességre, továbbá azt is fel kell tételeznie, hogy ha a jelenlegi kísérleteket a mostaninál sokkal nagyobb kísérleti pontosságot nyújtó módszerekkel megismétlik, akkor sem adnak a jelenlegiektől eltérő eredményeket.

[19] *P. Jordan :* Anschauliche Quantentheorie. J. Springer, Berlin 1936. 279. o.

Beszélgetéseim során találkoztam ilyen kijelentésekkel, amelyek a következtetéseket dogmatizálták. Példaképpen a 23. §-ban idéztem egy beszélgetést. Az ilyen dogmatikus jellegű állítások sokkal inkább az Einstein következtetéseibe vetett vallásos hitre vallanak, semmint kritikai tudományos gondolkodásra. És valóban, időnként megvádoltak azzal, hogy „hitem" a relativitási elvben nem elég mély, és a hitnek ez a hiánya az oka annak, hogy megkísérlem kritikával illetni az elméletet.

Az éter és a „Denkökonomie"

59. §. Annak a nézetnek alátámasztására, hogy kitüntetett vonatkoztatási rendszer nem létezik, egy másik érvelési irányzat a szintén Mach által bevezetett „gondolkodásökonomiai elven" alapul.

Laue erre az érvelésre vonatkozóan is tesz megjegyzést:[20]

„Ezzel azonban abba a helyzetbe kerültünk, hogy a vonatkoztatási rendszer mivoltára irányuló kérdésnek egészen más tartalmat adjunk. Árra törekszünk ugyanis, hogy a fizikai törvények matematikai megfogalmazását a lehető legegyszerűbb módon adjuk meg, és a már említett és hasonló tapasztalatok alapján láthatjuk, hogy erre a célra, többek között, alkalmas vonatkoztatási rendszerre is szükség van. Hogy az egyszerűség posztulátuma alapján eljutunk-e a vonatkoztatási rendszer egyértelmű megválasztásához, vagy még ekkor is több egyenértékű lehetőség marad nyitva, az később eldöntendő kérdés.

Az egyszerűségnek ez az elve azonban semmi esetre sem a kényelmesség alaptétele — véleményünk szerint a „gazdaságossági elv a tudományban" (Denkökonomie) kifejezés nem látszik szerencsésnek —; ez egyike a legmagasabb kutatási elveknek a természettudományokban egyáltalán. Ha a kutatási elvek célja az, hogy az eseményeket tér- és időbeli, oksági és ehhez hasonló összefüggéseik szerint rendezzék, akkor a különböző rendezési módok közül, amelyeket a különböző elképzelhető vonatkozási rendszerek lehetővé tesznek, mégis csak az — vagy azok — jut legközelebb ehhez a célhoz, amelyik az összefüggések *egyszerű* kifejezését teszi lehetővé."

Bár Laue kritizálja a „Denkökonomie" kifejezést, kritikája csak a terminológiát érinti. Mert végső soron mindegy, hogy valaki — mint azt Mach teszi — a „Denkökonomie"-t elvként posztulálja, vagy valaki — mint azt Laue javasolja — azt erősítgeti, hogy a tudomány feladata, hogy tapasztalatainkat a lehető legegyszerűbb módon fejezze ki. A felfogások e két változata ugyanazon az idealista feltevésen alapul, hogy a tudomány csupán a tapasztalatok rendezésének folyamata. Az egyszerűségnek vagy a „Denkökonomie"-nak problémája azonnal eltűnik, ha emlékeztetünk arra, hogy tudományos eredményeink az objektív természeti törvények tükröződései, nem pedig többékevésbé helyes formális magyarázatok.

60. §. Einstein álláspontjával ellentétben A. H. Lorentz[21] sohasem volt meggyőződve arról, hogy az éter fogalmát ki kell küszöbölni a fizikából. Bár Einstein iskolájának erős hatása alatt állott, a következőket írta:

„Tegyük fel, hogy van éter; ebben az esetben valamennyi x, y, z, t-rendszer közül az egyiket az tüntetné ki, hogy koordináta-tengelyei, valamint

[20] *M. von Laue :* Id. mű 3. o.
[21] *Lorentz—Einstein—Minkowski :* Id. mű 75. o.

órája az éterben nyugszanak. Ha most ezzel azt a feltevést kötjük össze (amelyet a magam részéről csak nem szívesen adnék fel), hogy a tér és az idő valami egymástól teljesen különböző dolog, és hogy van igazi idő (ebben az esetben az egyidejűség a helytől függetlenül állna fenn, annak a körülménynek megfelelően, hogy képesek vagyunk végtelen nagy sebességet elképzelni), akkor könnyen belátható, hogy ezt a valódi időt éppen azoknak az óráknak kellene mutatniok, amelyek az éterben nyugszanak. Mármost ha a relativitási elv a természetben általános érvényű lenne, akkor semmi esetre sem lennénk abban a helyzetben, hogy megállapítsuk, vajon az éppen alkalmazott vonatkozási rendszer-e ama kitüntetett rendszer. Ebben az esetben tehát ugyanazokra az eredményekre jutunk, mintha — Einsteinhez és Minkowskihoz csatlakozva — az éter és a valódi idő létét tagadnók, és valamennyi vonatkozási rendszert egyenértékűnek tekintenénk. Hogy a két gondolkodási mód közül valaki melyikhez csatlakozik, az mindenkinek saját döntésétől függ."

A fenti idézet annál is inkább figyelemre méltó, mivel Einstein, Lorentz és Minkowski közös kiadványából származik. Ez a könyv a maga idejében arra szolgált, hogy nyilvánosan demonstrálja Lorentz csatlakozását az Einstein-féle álláspontho z. A fenti szövegrész alapján azonban úgy érezzük, hogy Einstein nézetének elfogadása meglehetősen félszívvel történt.

A K_0 kitüntetett rendszer fogalmának elemzése

61. §. Véleményünk szerint a K_0 kitüntetett rendszer fogalmára a jelenségek következetes analízise útján jutunk.

Elmélet segítségével olyan dolgokról is szerezhetünk ismereteket, amelyeket egyébként nem tudnánk felfogni. Ennélfogva, ha nem engedjük magunkat a pozitivista érveléstől befolyásoltatni, akkor pl. az energiát, entrópiát stb. olyan fogalmaknak tekintjük, amelyek a természetben objektíve létező jelenségek tükröződései. Nem számít, hogy e fogalmakra többé-kevésbé bonyolult logikai konstrukció útján jutottunk.

A kitüntetett rendszer fogalma logikai szükségességnek látszik, ha a fény terjedésére, órákra stb.-re vonatkozóan meggondolásokat akarunk felépíteni.

A 7—18. §-okban részletezett szinkronizálási előírásnak nincsen semmi értelme, ha nem tesszük fel, hogy igenis van olyan vonatkoztatási rendszer, amelyhez képest a fény terjedése valóban izotrop.

E problémával kapcsolatban hadd idézzünk Nicolai Hartmanntól[22] egy tanulságos megjegyzést; abból a munkájából, amelyben elemzi a relativitáselméletet, és szembehelyezkedik ennek pozitivista állításával:

„Másképpen mutatkozik azonban a dolog, ha ontologikusan gondolkozunk. Hogy valami egyidejűleg ‚létezhet' akkor is, ha nem észlelhető — mégpedig objektív okokból nem észlelhető — egyidejűnek, azt a fenti transzformáció egyáltalán nem veszi figyelembe. De ontologiailag éppen az a kézenfekvő és egyszerű, hogy egyidejűség és nem egyidejűség, mint minden más reális viszony, minden megfigyeléstől és megállapítástól, sőt egyáltalán a megállapíthatóság határaitól függetlenül is fennállanak, és hogy erről a fenn-

[22] *N. Hartmann :* Philosophie der Natur. W. de Gruyter and Co., Berlin 1950. 237—238. o.

állásról biztos tudomásunk is lehet, anélkül hogy azt konkréten kifejezhető időértékekben meg tudnók határozni. Ha ilyen szemlélettel vizsgáljuk meg közelebbről a dolgokat, kitűnik, hogy valamiféle egyidejűségnek ilyesfajta fennállása egyenesen hallgatólagos előfeltétele annak, hogy értelmesen beszélhessünk a fény térbeli útjának meghatározott időtartamáról, valamint ennek az időtartamnak az észlelő mozgásállapotától függő növekedéséről és csökkenéséről. Ilyen időkülönbségek megfigyeléséből tudta egykor Römer Olaf a fénysebességre vonatkozó első következtetést levonni: a Jupiter mellékbolygói elsötétedéseinek egymásutánjában — a Földnek a Jupiterre vonatkoztatott mozgási szakasza szerint — bekövetkezett gyorsulás és lassulás volt a kiindulási jelenség. Ismeretes, hogy a következtetés mennyire helytállónak bizonyult. De értelme csak akkor volt, ha feltételezték, hogy az elsötétedési időpontok egyértelműleg egy, a földi időpontok szerint megragadható időrendbe is beilleszkedtek, vagyis egy, a Föld mozgásállapotától független időpontsorozattal egybeestek. Az előfeltétel tehát az észlelhetőségtől független egyidejűség feltételezése."

62. §. Nehézségek állnak fenn azzal kapcsolatban, hogy nem sikerült a kitüntetett rendszer mozgásállapotát egyértelműen meghatároznunk. A tényleges helyzet illusztrálására tegyük fel, hogy mérőrudakat csak kocsonyából tudnánk készíteni. Ilyen rudak segítségével nem tudnánk eldönteni, vajon egy adott vonal egyenes-e vagy sem, és nem tudnánk segítségével távolságokat túlságosan jól összemérni, mivel e mérőrudak nem viselnék el áthelyezésüket deformáció nélkül. Mindazonáltal kizárólag ilyen mérőrudak birtokában, logikai felépítés útján, mégis képesek lennénk az egyenes és a geometriai alakzatok fogalmának megalkotására. Az a körülmény, hogy mérőműszereink gyenge minőségűek, természetesen nem befolyásolja a geometria objektivitását.

63. §. A Michelson—Morley-féle kísérletek és más kísérletek eredménye azt mutatja, hogy acélból vagy bármi más anyagból készült mérőrúdjaink bizonyos értelemben igenis úgy viselkednek, mintha kocsonyából lennének, azaz deformációt szenvednek, ha dolgozunk velük. Ezek alapján arra kényszerülünk, hogy geometriai fogalmakat alkossunk olyan eredmények felhasználásával, amelyeket a geometriai alakzatokhoz képest tökéletlen tulajdonságokkal rendelkező anyagokból készült műszerek segítségével nyertünk. A kocsonyaszerű viselkedést mutató rudakkal stb. végrehajtott kísérletek alapján, logikai dedukcióval, arra a belátásra jutunk, hogy ezek a rudak gyorsulásukkor megrövidülnek, és más hasonló tulajdonságokkal is rendelkeznek. E tulajdonságok tanulmányozásánál arra a következtetésre jutunk, hogy rúdjaink stb. lágysága megakadályozza azt, hogy magának a K_0 rendszernek mozgásállapotát konstatálhassuk.

Mindezek alapján a jelenségek ellentmondásmentes képét kapjuk meg — talán sajnálhatjuk, hogy a K_0 rendszer mozgásállapotát nem sikerül meghatároznunk. Ez a sajnálat olyan jellegű lehet, amelyet például akkor érzünk, amikor rájövünk arra, hogy egy, a térben levő sötét köd megakadályozza a tejútrendszerünk középpontjának megfigyelését. Éppen úgy azonban, ahogy nem kételkedünk ennek a középpontnak létezésében, nem szabad kételkednünk a nyugalmi rendszer létezésében sem, amelyet, sajnálatos módon, nem vagyunk képesek közvetlenül megfigyelni.

Néhány modern felfogás

64. §. Mind több jel mutat arra, hogy annak az éternek fogalma, amelyről tekintélyelv alapján jelentették ki annak idején, hogy nem létezik, most mindennek ellenére lassan újból behatol a fizikai elméletekbe. Máris vannak olyan elméleti meggondolások, amelyek az elemi részeken vagy az atommagokon belül fénysebességnél gyorsabban terjedő hatások feltételezésére vezetnek. Az ilyen sebességekkel járó folyamatokat általában egyszerűen „akauzális" folyamatoknak nevezik. Ha azonban e folyamatokat egy K_0 rendszerre, mint helyes vonatkoztatási rendszerre vonatkoztatjuk, akkor „akauzális" jellegük azonnal megszűnik. Az „akauzális" kifejezés abból a körülményből ered, hogy ma sok fizikus inkább hajlandó „elejteni" az okság elvét, mintsem hogy Einsteinnek a K_0 kitüntetett rendszer nemlétezésére vonatkozó dogmáját vesse el.[23]

Valóban, ha feltételezzük valamennyi Lorentz-rendszer egyenértékűségét, a fénysebességnél nagyobb sebességértékek kétértelműséget idéznek elő az ok és okozat sorrendjében. Mihelyt azonban egyetlen rendszert kitüntetünk, abba a helyzetbe kerülünk, hogy máris megkapjuk az események helyes sorrendjét, és az adott folyamat esetében világosan meg tudjuk különböztetni az okot az okozattól.

65. §. Az elmélet dogmatizálásának további jele, hogy eredeti megfogalmazásában hangsúlyozták: az üres térben valamennyi hatásnak fénysebességgel kell terjednie, mivel bármely más sebességgel terjedő hatás alkalmas lenne a különböző inerciarendszerek megkülönböztetésére. Ismét Lauet idézzük:[24]

„Itt ellenben azt látjuk, hogy az üres téren át valamennyi hatásnak c fénysebességgel kell terjednie, ha mégis fennáll egy általános relativitási elv érvényessége a fizika valamennyi területére. Mert ha volna egy olyan hatás, amely ennek a tételnek ellentmond, akkor rávonatkozólag megismételhetnők ennek a paragrafusnak meggondolásait, és olyan transzformációt kapnánk, amely a IX-től, (vagyis a közönséges Lorentz-transzformációtól) csupán a c értékében különböznék. Egy olyan vonatkoztatási rendszer, amely mind az elektrodinamika, mind a fizika ezen új területén érvényes, páratlan lenne a maga nemében; ugyan még végtelen sok, vele egyenértékű koordinátarendszer lenne az elektrodinamika területén és végtelen sok más koordinátarendszer, amelyeket a másik terület számára hasonlóképpen jól fel lehetne használni, de a transzformációs formulák különbözősége következtében a vonatkozási rendszereknek ez a két serege nem esnék egybe."

Az elmélet jelenlegi dogmatizált formájában a fényénél nagyobb (és kisebb!) sebességekre vonatkozó eredeti álláspont feledésbe merült; ily módon a fényénél nagyobb sebességeket az Einstein-féle formalizmusba szorítják be, amely lényegében alkalmatlan, hogy ilyen jelenségekről számot adjon.

66. §. A modern fizikának hasonló, érdekes jellegzetessége, hogy az elméletek gátlás nélkül dolgoznak a *vákuum polarizációja* fogalmával. Sok fizikus tehát inkább hajlandó feltenni, hogy az üres tér polarizálható, mintsem hogy kételkedni kezdjen a relativitáselméletben lefektetett dogmákban.

[23] Az okság elve e feladásának a problémája nincs kapcsolatban az akauzalitás kvantumelméleti problémájával.

[24] *M. von Laue :* Id. mű 57. o.

Megjegyzés a kitüntetett rendszer szóba jövő fizikai jelentésére vonatkozóan

67. §. A K_0 kitüntetett rendszer lehetséges jelentésén gondolkodva, figyelmet kell szentelnünk arra a körülményre, hogy a bennünket körülvevő állócsillagok zömükben egymáshoz viszonyítva aránylag kis sebességgel mozognak, és, úgy látszik, hogy így hatásos módon kitüntetnek egyetlen vonatkoztatási rendszert, amelyet világosan meg lehet különböztetni az állócsillagokhoz képest gyorsan mozgó többi inerciarendszertől. Megjegyezzük továbbá, hogy az állócsillagok a naprendszer környezetében közelítőleg stacionárius gravitációs teret hoznak létre, és így nem túlságosan erőltetett hipotézis, hogy a K_0 rendszert a stacionárius gravitációs tér determinálja.

Ha elfogadjuk e feltevést, azt is feltételezhetjük, hogy a fény terjedése az állócsillagok stacionárius gravitációs terében izotrop. Ezek szerint a gravitációs teret tekinthetnők annak a közegnek, amelyben a fény terjed.

Egy ilyen hipotézis annál is inkább természetes, mert a fény terjedését — mint tudjuk — a gravitációs terek befolyásolják, amint azt a Nap mellett elhaladó fénysugár elhajlásának észlelése igazolta.

68. §. E kérdés részletes elemzése szükségképpen elvezet az általános relativitáselmélet problémakörébe. Az ilyen tárgyalást azonban későbbi alkalomra szeretném halasztani, és ezúttal csak egyetlen megjegyzés megtételére kívánok szorítkozni.

Egy gyorsított fizikai rendszer a gyorsuló mozgással szemben bizonyos reakciót mutat. Így például egy tengely körül forgatott rendszerben a centrifugális erők hatására feszültségek lépnek fel.

Mach fizikai meggondolásai szerint az inerciaerők, így pl. a centrifugális erő, a nem egyenletesen mozgó rendszernek a távoli csillagok tömegeivel való kölcsönhatásaként jelentkeznek. E kölcsönhatás hordozójaként a gravitációs teret tekintjük, ezek szerint valahányszor egy rendszert a környezetének stacionárius gravitációs teréhez képest gyorsítunk, inerciaerők lépnek fel benne.

Úgy látszik, hogy amint a lokális gravitációs tér állapotához viszonyított gyorsulást gyorsulásnak tekinthetjük, ugyanilyen módon a lokális gravitációs térhez viszonyított mozgást tekinthetjük transzlációs mozgásnak. Ily módon a K_0 kitüntetett rendszernek mélyenjáró fizikai jelentést tulajdoníthatunk.

69. §. Az előző paragrafusban szereplő megjegyzéseink természetesen csak illusztrálásul szolgálnak a tekintetben, hogy is kaphatjuk meg a nehezen megfogható K_0 kitüntetett rendszer jelentésének világosabb fizikai képét.

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Лаеш Яноши

Настоящая статья представляет собой в основном статью, напечатанную в журнале Вопросы Философии; внесены лишь небольшие уточнения. Она посвящена критическому анализу основных принципов теории относительности.

В настоящей статье мы вводим новый принции, называемый нами принципом Лоренца и указываем, что экспериментальные результаты, которые обыкновенно толкуются на основе принципа относительности, могут быть истолкованы в общих чертах и детально при помощи принципа Лоренца. Далее мы указываем на то, что теория, построенная на основе принципа Лоренца, не включает идеалистические концепции, неизбежно встречающиеся в случае теории, построенной на основе принципа относительности.

THE PHILOSOPHICAL PROBLEMS OF THE SPECIAL THEORY OF RELATIVITY

Lajos Jánossy

The present paper gives a sligthly modified version of my article which appeared in the Voprosy Filosofii. The paper contains a critical analysis of the fundamental questions of the special theory of relativity.

In the paper we propose a new principle which we denote the Lorentz principle. We show that the experimental findings which are usually interpreted with help of the principle of relativity can also be interpreted in terms of this principle. We show that the theory when built up with help of the Lorentz principle does not contain the idealistic concepts which it necessarily contains when built up in terms of Einstein principle of relativity.