IV. A Lorentz-transzformáció.

Láttuk, hogy a mozgó rendszer időtartamai és hosszméretei mekkorának mutatkoznak az álló rendszerből nézve. A mozgóban észlelt időtartam az álló rendszerben k-szor hosszabb, a mozgó rendszerben észlelt hosszúság az állóban k-szor rövidebb. A jellemző

$$k = 1/\sqrt{1-(v/c)^2}$$

szorzó a sebesség függvénye. k csak a fénysebességgel összemérhető sebességek esetében tér el lényegesen 1-től, de ha v közeledik c fénysebességhez, akkor k rendkívül megnövekszik. Mivel az időtartam és hosszúság sebességfüggése a szokásos sebességek esetében igen kicsiny, ezért évszázadunk elejéig észrevétlen maradt.

Táblázatunk néhány sebességhez tartozó k-értéket tüntet fel. Az adatok az áttekinthetőség kedvéért kereken 300 000 km/s fénysebességre vonatkoznak. A fénysebesség pontos értéke vákuumban Bay Zoltán 1972-ben végzett mérése szerint: 299 792 456,2 ± 1,1 m/sec .

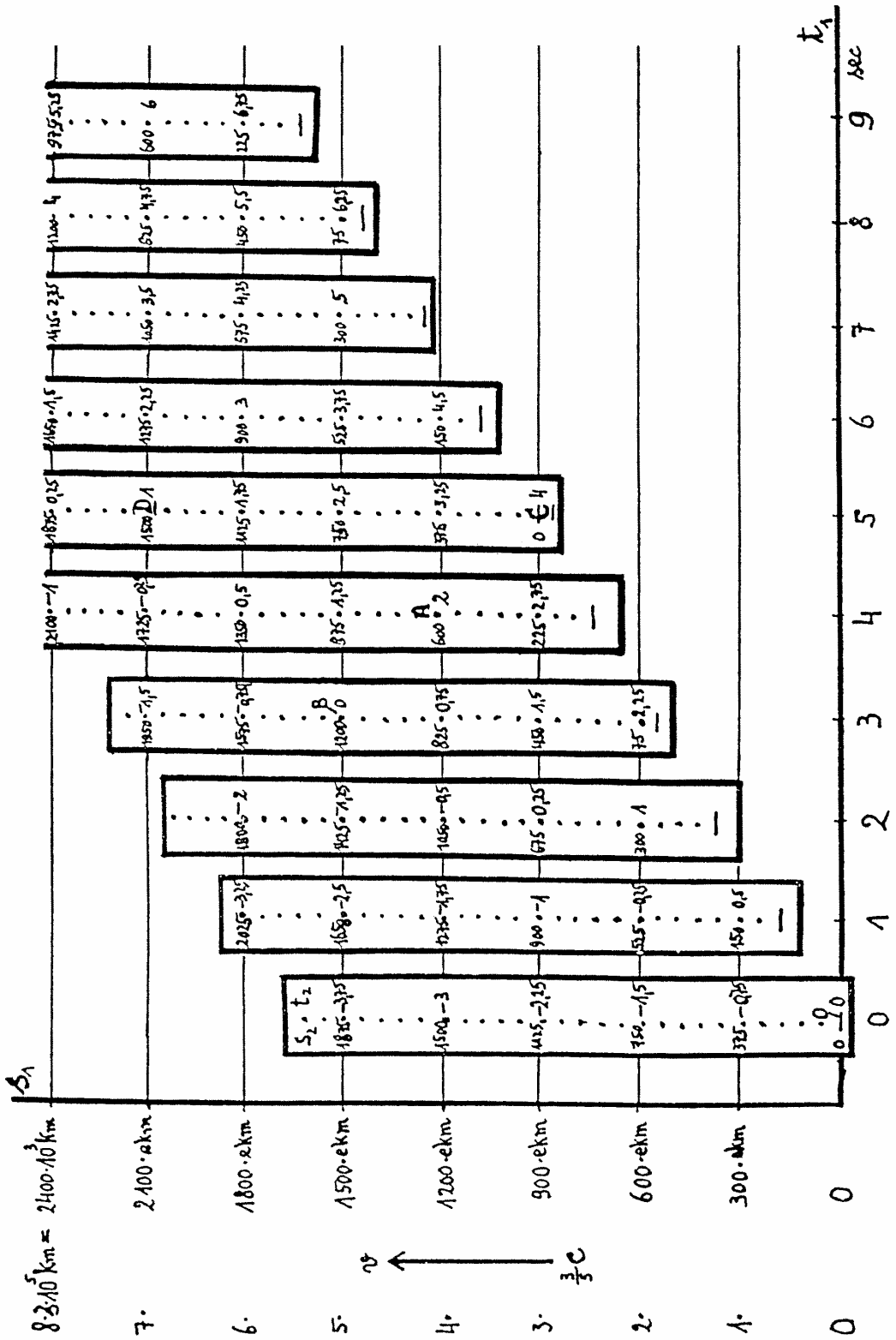
	v km/sec	k
	0	1
vonat	0,04	$1+8{,}9\cdot10^{-15}$
Föld keringése	30	1,000000005
1 kV-os elektron	18800	1,0019
1 GeV-os proton	250000	1,809
30 GeV-os proton	299865	33,4
300 GeV-os proton	299999,52	321
20 GeV-os elektron	299999,91	40000

A fénysebesség esetében k végtelen. Ezt a sebességet részecskék, korpuszkulák nem tudják elérni.

Einstein szerint mozgó rendszerek között történő hossz- és időméréseknél a következő eljárást kell követni. Az egyik (I. "álló") rendszerben egyenlő hosszúságú méterrudakat és teljesen egyforma órákat készítenek, ezek egyformaságát ellenőrzik. Ezután a méterrudak és órák felét feldobják a v sebességgel haladó vonatra. Ott ezeket a tárgyakat ellenőrzik és megállapítják, hogy a rudak és órák (a vonaton vizsgálva) egyenlő hosszúak és egyformán járnak. Ezután a vonaton a méterrudakkal hosszúságokat jelölnek ki és az órákat szétosztják a vonaton az ablakok mellett ülő megfigyelők között. Az ekkor létező állapotot a következő oldal nagy ábrája mutatja.

A nagy ábra az s_1-tengely mentén $v = 3c/5 = 180$ ekm/sec sebességgel haladó vonatot tüntet fel egymás utáni másodpercekben, mint a pályatesten mért t_1 idő függvényét. A vonatot ábrázoló téglalapok bal szélén a vonaton érvényes

s_2 távolságadatok találhatók ekm-ben, a téglalap jobb szélén a vonaton érvényes t_2 időadatok vannak feltüntetve. A számok között megtaláljuk a II. és III. részben szereplő példák adatait.



Úgy kell elgondolnunk, hogy végig a pályatest mentén és a vonaton megfigyelők ülnek, akik feljegyzik, amit észlelnek. Később azután levélben, telefonon kicserélik tapasztalataikat. Ha egy esemény történik, akkor megállapítható időadata ás távolságadata a pályatesten, valamint ugyanakkor, ugyanott a vonat ablakánál ülő megfigyelő által is. Ha például a pályatesten t_1 = 4 sec-kor, s_1 = 1200 ekm-nél (*A*-pont) egy lámpát villantanak fel, akkor a vonaton az s_2 = 600 ekm-nél az ablaknál ülő feljegyzi, hogy t_2 = 2 sec-kor látott fényjelet az ablaka előtt. Egyre megy, hogy a pályatesten álló megfigyelő villantotta-e fel a lámpát, vagy a vonaton ülő megfigyelő az ablakból kinyúló karjával. Tehát van két egymásban mozgó koordinátarendszer, az egyik a pályatesten levő távolság–idő adatrendszer, a másik a vonaton érvényes távolság–idő adatrendszer, amelyek ugyanazon pontban és pillanatban érvényes adatait kell megfigyelni, összekapcsolni. (Az s_1-tengely egyenesében történő mozgásról van szó.)

Hosszúságmérés.

A pályatesten van egy alagút 0-tól 1500 ekm-ig. Ennek a hosszúságát mérik a vonatról. A vonaton keresnek olyan két utast, akik közül az egyik ugyanabban a pillanatban megy ki az alagútból (*B*-pont), mint a másik be (*O*-pont). Ezek távolsága a vonaton 1200 ekm = 1500 ekm/*k*. Tehát a vonaton utazó fizikusok megüzenik a pályatesten levőknek, hogy az alagút 1200 ekm hosszú. Tehát a pályatesten mért távolság a vonatról *k*-szor rövidebb.

Időtartam-mérés.

A töltésen 0 sec-kor felemel valaki egy zászlót és 180 ekm/sec sebességgel fut 5 sec-ig, amikor is 900 ekm-ig jut el (*C*-pont) és leejti a zászlót; futásának ideje 5 sec. A vonat legvégén ülő utas azt látja, hogy valaki áll az ablaka előtt és 0 sec-kor felemel, 4 sec-kor leejt egy zászlót, tehát 4 sec-ig volt a zászló felemelve. A pályatesten mért időtartam 5 sec = k·4 sec.

Fénysebesség-mérés.

A pályatesten 0 sec-kor 0 ekm-nél (*O*-pont) fényjelet indítanak el az s_1-tengely egyenesében. Ez 4 sec-kor 1200 ekm-ig jut el (*A*-pont); a fény sebességét a pályatesten 1200 ekm/4 sec = 300 ekm/sec-nak találják. A vonaton azt észlelik, hogy az ő 0 km-jelüktől 0 sec-kor elinduló fényjelet a 600 ekm-nél ülő utas 2 sec-kor látja megérkezni; kiszámítják a fény sebességét: 600 ekm/2 sec = 300 ekm/sec. Ugyanaz, mint a pályatesten. Ezt mutatta a Michelson-kísérlet.

Egyidejűség, időrend.

A pályatesten 5 sec-kor, 900 ekm-nél valaki felemelt egy zászlót (*C*-pont) és ugyanakkor, 5 sec-kor 2100 ekm-nél füttyent egy madár (*D*-pont). A vonaton utazók mérési jegyzőkönyvében az áll, hogy először, 1 sec-kor az 1500 ekm-es ablaknál észlelt valaki madárfüttyöt és később, 4 sec-kor a 0 ekm-es ablaknál ülő megfigyelő látott zászlófelemelést. Tehát az egyidejűség relatív.

Az időrend meg is fordulhat. A pályatesten 4 sec-kor, 1200 ekm-nél (*A*-pont) valaki tapsol, azonkívül az is történik, hogy később, 5 sec-kor 2100 ekm-nél (*D*-pont) füttyent egy madár. A vonaton utazó fizikusok naplójában olvasható: először, 1 sec-kor hallott madárfüttyöt az 1500 ekm-nél ülő utas, azután később, 2 sec-kor a 600 ekm-nél ülő utas figyelt meg tapsot.

Azonban az időrend megfordulása csak olyan két eseménynél következhet be, amelyek egymástól függetlenek, amelyek között nincs okozati összefüggés. A madárfüttyöt nem okozhatja a távoli tapsolás. Mert ha okozati összefüggés volna közöttük, akkor a tapsoláskor elindított jelnek a pályatesten mérve (2100 ekm – 1200 ekm) : (5 sec – 4 sec) = 900 ekm/sec, a vonaton mérve (1500 ekm – 600 ekm) : (2 sec – 1 sec) = 900 ekm/sec sebességgel kellett volna végbemennie. Minden eddigi tapasztalat szerint a természetben nincs c = 300 ekm/sec-nál gyorsabb híradási lehetőség. Tehát az ok-okozati kapcsolat semmiféle mozgó koordinátarendszerből megfigyelve sem fordulhat meg.

A μ-mezon bomlása.

A nehéz elektronok egyik fajtájáról, a μ-mezonról laboratóriumokban megállapították, hogy átlagos élettartama $2\cdot10^{-6}$ sec, azután átalakul egyéb részekre (elektron, neutrínók). A légkör kb. 20 km magasan levő rétegében a kozmikus sugárzás következtében is keletkeznek μ-mezonok és lejutnak a földfelszínre. Ez érdekes, mert még fénysebességgel történő mozgás esetében is $2\cdot10^{-6}$ sec alatt legfeljebb $2\cdot10^{-6}$ sec$\cdot3\cdot10^{5}$ km/sec = 0,6 km-es utat tehetnek meg és így még leérkezés előtt el kellene bomlaniuk. Pedig leérkezésüket a földfelszínen észlelik. Azonban a μ-mezon sebessége 299865 km/sec, ekkor k = 33,4 és élettartama a földfelszínről megfigyelve $33{,}4\cdot2\cdot10^{-6} = 6{,}64\cdot10^{-5}$ sec és ezalatt 299865 km/sec$\cdot6{,}64\cdot10^{-5}$ sec ≈ 20 km-es utat megtéve képes lejutni. A μ-mezonról nézve a 20 km-es távolság tűnik 33,4-szer rövidebbnek.

Az intervallum.

Az egyik rendszerben, például a pályatesten olyan jelenség megy végbe, amelyhez távolság-különbség (Δs_1) és idő-különbség (Δt_1) tartozik. Például 0 sec-kor 0 ekm-nél eltört egy üveg (*O*-pont) és 5 sec-kor 2100 ekm-nél füttyentett egy madár (*D*-pont). A két esemény közötti távolság-különbség $\Delta s_1 = 2100 - 0 = 2100$ ekm és az idő-különbség $\Delta t_1 = 5 - 0 = 5$ sec.

A két eseményt a vonaton is észlelik. Számukra a távolság-különbség $\Delta s_2 = 1500 - 0 = 1500$ ekm és az idő-különbség $\Delta t_2 = 1 - 0 = 1$ sec.

A természet olyan, hogy Δs és Δt mindegyike különböző a pályatesten, illetve a vonaton. Minkowski felfedezése: számítsuk ki a pályatesten is, a vonaton is Δs-ből és Δt-ből ezt a Pitagorasz-tételre, távolságmeghatározásra emlékeztető mennyiséget:

$$S = \sqrt{(\Delta s)^2 + (ic\Delta t)^2}.$$

A pályatesten:

$$\sqrt{(\Delta s_1)^2 + (ic\Delta t_1)^2} = \sqrt{(2100\text{ekm})^2 - (300\text{ekm}\cdot 5)^2} = \sqrt{4{,}41\cdot 10^6\,\text{ekm}^2 - 2{,}25\cdot 10^6\,\text{ekm}^2} = 600\sqrt{6}\text{ekm}.$$

A vonaton:

$$\sqrt{(\Delta s_2)^2 + (ic\Delta t_2)^2} = \sqrt{(1500\text{ekm})^2 - (300\text{ekm}\cdot 1)^2} = \sqrt{2{,}25\cdot 10^6\,\text{ekm}^2 - 0{,}09\cdot 10^6\,\text{ekm}^2} = 600\sqrt{6}\text{ekm}.$$

Az eredmény ugyanaz.

Ez a felfedezés, felismerés igen fontos. Ha az adatkülönbségekből megalkotjuk az

$$S = \sqrt{(\Delta s)^2 + (ic\Delta t)^2}.$$

mennyiséget, akkor egy esemény alkalmával ez a mennyiség minden egymáshoz képest egyenesvonalú egyenletes mozgásban levő rendszerben ugyanannyi, neve: intervallum.

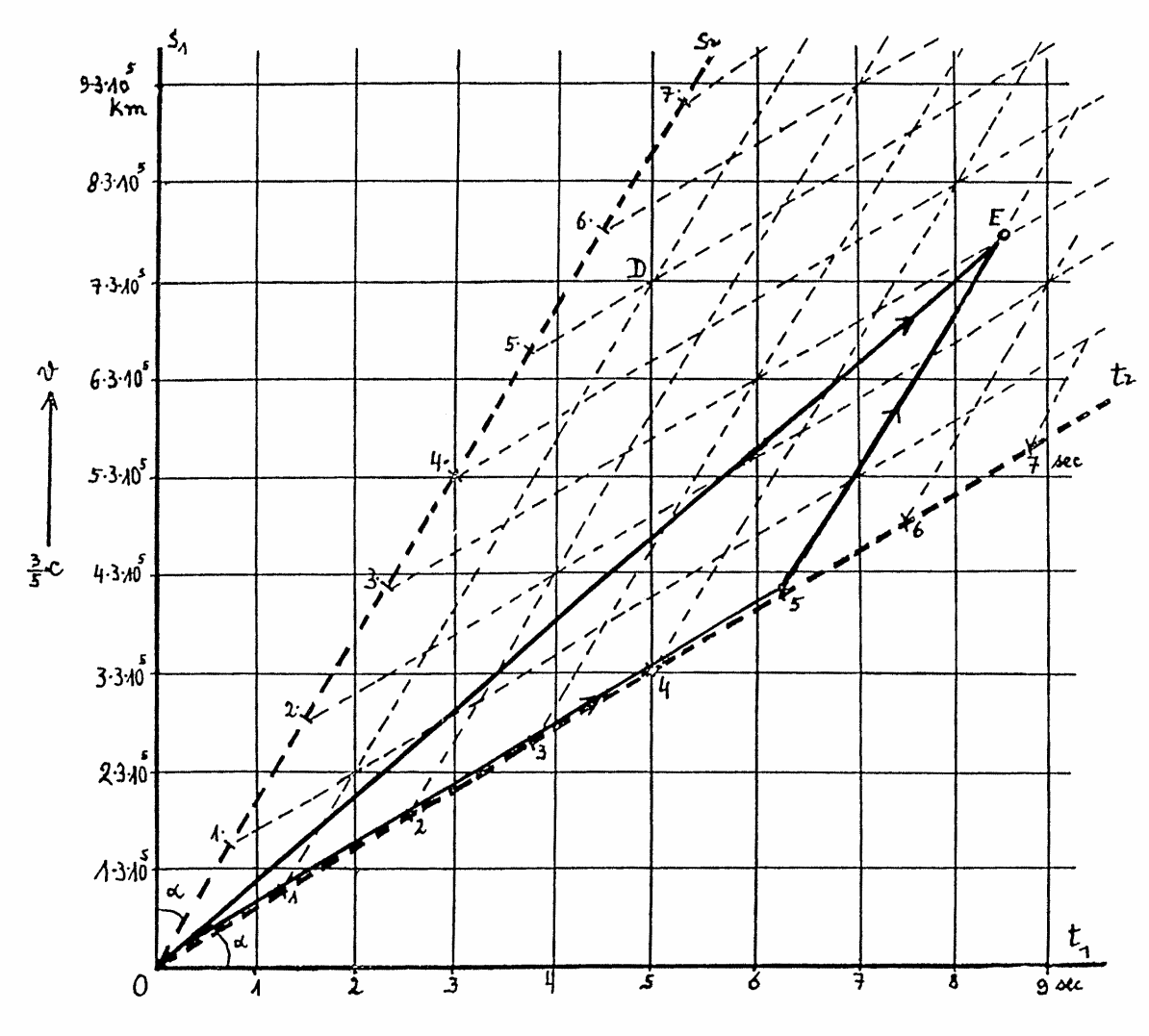
Az intervallum a sebességtől független, úgynevezett invariáns mennyiség. Hasonlóan a két pont távolságát megadó

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

mennyiséghez, amely szintén ugyanannyi marad a koordinátatengelyek bármilyen elhelyezésénél.

Egy esemény tanulmányozásánál az intervallum az igazi, a változatlan. Ha a fénysebességgel összemérhető sebességek világában nőnénk fel, akkor az intervallum fogalma alakulna ki bennünk. A külön tér és külön idő az intervallum vetületei, amelyek a sebesség szerint mások és mások. Az intervallumban összeolvad a "régi" tér és idő.

Az intervallum változatlanságának a bizonyítása az V. részben található.



[V. A sebességek összeadása]

[Vissza a tartalomjegyzékhez]

[INDEX]