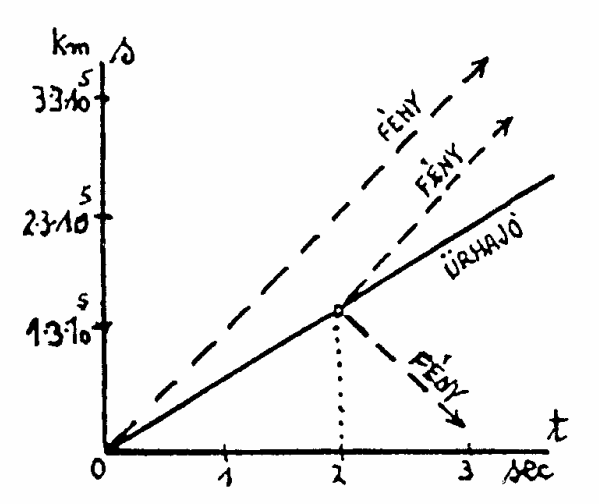
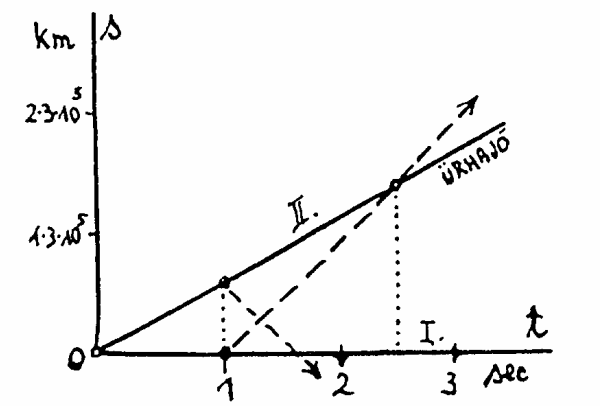
II. Az időtartamok mérése.

Ha egy mozgó vonaton vagyunk, akkor az azon végbemenő folyamatokhoz tartozó időtartamok és távolságok mérése problémamentes: elő kell venni az órát és a méterrudat és használni kell azokat. Hogy a vonat és a töltés mozognak egymáshoz képest, az ebben az esetben lényegtelen. Az eljárás akkor problematikus, ha a pálya mellől akarjuk megállapítani a vonat eseményeinek időtartamát, hosszúságait, vagy fordítva.



Először az időtartam meghatározásáról lesz szó. Ábrázoljuk az utat mint az idő függvényét. Az x-tengelyre másodperceket, az y-tengelyre a megtett utat mérjük fel. Ugyanakkora darab jelöljön az út tengelyén $3\cdot10^5$ km-t, mint amekkora az időtengelyen 1 másodpercet jelent. A mozgások az s egyenesben mennek végbe. Ha t = 0-kor előre indítunk el egy fénysugarat, ennek útját 45°-os egyenes ábrázolja. A fénysebesség $c = 3\cdot10^5$ km/sec.

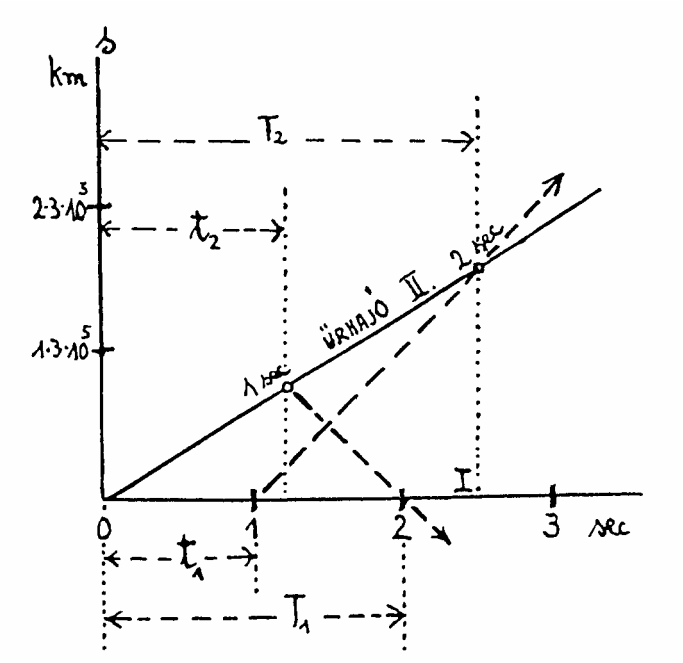
Űrhajónk az ordinátatengely mentén mozog $v = 0{,}6c$ = 180000 km/sec = 180 ekm/sec sebességgel, útját egyenes vonal ábrázolja. Ha 2 sec-kor az űrhajóról fényjelet indítanak előre, illetve hátra, akkor a fényjelek útját a szaggatott egyenesek tüntetik fel.



Adva van két biológus. Egy bacillusfajt tanulmányoznak, amely másodpercenként osztódik, tehát óraként szolgál. Az első (I.) otthon marad és az első osztódáskor fényjelet indít el, ezzel hozza II. tudomására az osztódás megtörténtét. Ugyanis a II. biológus $0{,}6c$ sebességgel mozgó űrhajóra szállt bacillusaival együtt.

Az I.-biológus fényjele 2,5 sec-kor érkezik II.-höz. A jel érkezésének és az esemény időtartamának aránya 2,5 : 1 = 2,5.

Az űrhajón II. biológus bacillusa is 1 sec-kor osztódik, az ő visszaküldött fényjele 1,6 sec-kor érkezik I.-hez; az időarány 1,6 : 1 = 1,6. Ha ez a valóságban így volna, akkor különbséget lehetne tenni az "álló" és a "mozgó" biológus között. Ezt pedig sem a Galilei-féle relativitási elv, sem a fénytanban szerzett tapasztalatok nem engedik meg (Michelson kísérlete).



Einstein szerint természeti tény a következő. Az egyik rendszerből nézve a másik rendszerben érvényes időtartamot eltérés mutatkozik. Amikor II. bacillusa osztódik és számára 1 sec van, akkor az I. rendszerben 1,25 sec van és a II. által küldött fényjelet az I.-biológus 2 sec-kor észleli. Az I. bacillusának osztódásakor előre küldött fényjelet II.-biológus számára 2 sec-kor észleli. Így megvan a teljeses egyenjogúság: mindegyik a másik jelét ugyanolyan arányban később észleli. II. jelenti, hogy a baktérium nála (magától értetődően) szintén 1 sec-kor osztódott, de ez az időpont I. szerint 1,25 sec; viszont az I. által küldött fényjel II.-hez őszerinte 2 sec-kor érkezett meg, amikor nálunk 2,5 sec volt. Az arányok ugyanazok: 1,25 : 1 és 2,5 : 2.

Az időtartam-hosszabbodás levezetése.

Jelölések:

I. elküldi fényjelét t_1-kor és a II. jelét T_1-kor észleli;

II. elküldi a fényjelet szerinte ugyanakkor, mint I., de ez a pillanat I.-nek t_2; az I. jelének II.-höz érkezése az I. szerint T_2-kor történik.

A fénysugarak útjai: $c(T_2 - t_1) = vT_2$,

$$c(T_1 - t_2) = vt_2.$$

Továbbá az időarányok előbb elmagyarázott egyenlősége folytán:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{T_2}{T_1}.$$

T_1 és T_2 kiküszöbölése után kapjuk:

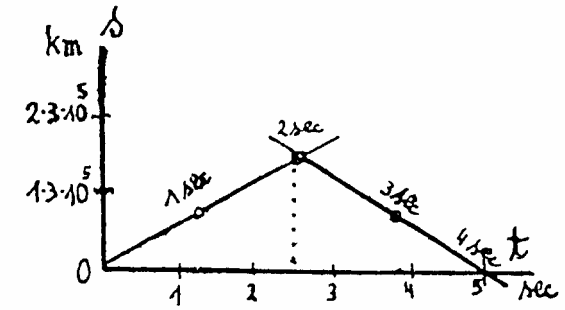
$$t_2 = t_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = t_1 \cdot k.$$

A sokszor szereplő, 1-nél nagyobb szorzó: $k = \dfrac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$.

Az eredmény a következő: ha II. azt jelenti, hogy egy esemény nála t_2 = 0-tól t_2-ig tartott, akkor I. azt észleli, hogy az esemény az ő számára t_1 = 0-tól kt_2-ig tartott. A II.-ből jelzett időtartamot I.-észlelő k-szor hosszabbnak észleli. Fordítva is igaz.

Az ikerparadoxon.

Az I.-biológus otthon marad. Ikertestvére, a II.-biológus űrhajón távozik 0,6*c* sebességgel és I. szerint 2,5 másodperckor, saját órája szerint 2 másodperckor átugrik egy visszafelé menő űrhajóra. Saját órája szerint a visszatérés is 2 másodpercig tart, összesen 4 másodpercig utazott, 4 másodpercet öregedett. II. utazása alatt I. számára 5 másodperc telt el, tehát az otthon maradt I. többet öregedett, mint ikertestvére. Ha ezután együtt otthon maradnak, az 1 másodperces életkor-különbség megmarad közöttük.



Amíg I. és II. egymáshoz képest egyenesvonalú egyenletes mozgásban vannak, addig az egyikben észlelt időtartamot a másik *k*-szorosnak észleli és fordítva, teljes egyenjogúságban. Az ikerparadoxon esetében I. és II. viszonya nem kölcsönös, mert II. gyorsulást élt át (az ellen-rakétára való átugráskor), a gyorsulás pedig abszolúte megfigyelhető egyetlen rendszerben is.

1971-ben Hafele és Keating észlelték az ikerparadoxont. A Földet repülőgépen körülrepülték és a velük vitt atom-óra $250 \cdot 10^{-9}$ másodperccel kevesebbet mutatott, mint az otthon hagyott atom-óra, megegyezésben a számítással.

III. A hosszúságok mérése

Vissza a tartalomjegyzékhez

INDEX