

A fizika története

Tér és idő

NEWTON öröksége

*„Természetén s törvényein az éj sötétje ült.
Isten szólt: »Legyen Newton!« s mindenre fény derült.”*

Alexander Pope (Rakovszky Zsuzsa fordítása)

*„De nem soká. Az ördög jó s kiált:
»Fiat Einstein!« S a káosz helyreállt.”*

J C Squire (Rakovszky Zsuzsa fordítása)

Abszolút tér és abszolút idő

- DESCARTES: csak akkor beszélt mozgásról, ha a test a környezetében lévő többi testhez viszonyítva változtatja a helyzetét
- NEWTON a *Principiá*-ban:
 1. Az abszolút valóságos matematikai idő önmagától, saját természetéből eredően, minden külső vonatkozás nélkül egyenletesen folyik.
 2. Az abszolút tér saját természetéből eredően, minden külső vonatkozás nélkül mindenkor hasonló és mozdíthatatlan marad.
- az abszolút tér és idő szükségessége: nélkülük nem tudta volna összekapcsolni az egymástól távol lévő testek közötti kölcsönhatást a testek mozgásával
- GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ (1646–1716) kritikája: amennyiben az abszolút tér egyenletes mozgást végezne, mivel semmihez nem viszonyítható, semmilyen lehetőségünk sincs ezen mozgás megállapítására

Az éter

- a newtoni **abszolút tér megtestesítője**, kitüntetett koordinátarendszer
- az **elektromágneses jelenségek hordozója**
- FRESNEL (1822): a fény nem más, mint egy univerzális folyadék meghatározott rezgési formája
- a fény transzverzális hullám \Rightarrow az éter ideális szilárdtest $\rightarrow\leftarrow$ végtelen finom, gázszerű anyag \Leftarrow az égitestek akadálytalanul haladnak benne
- SIR GEORGE GABRIEL STOKES (1819–1903) áthidaló javaslata: az éter viasszerű anyag – szilárd, de lassú állandó erő hatására szétfolyik

Fizika a XX. század fordulóján

„A fizika fontosabb alaptörvényeit és tényeit már mind felfedezték, és a jelen pillanatban az alapok olyan erősek, hogy az a lehetőség, hogy új felfedezések valaha is kiszorítsák őket, rendkívül távolinak látszik... A jövő felfedezései az eredményeket legfeljebb a hatodik tizedesjegyen befolyásolhatják.”

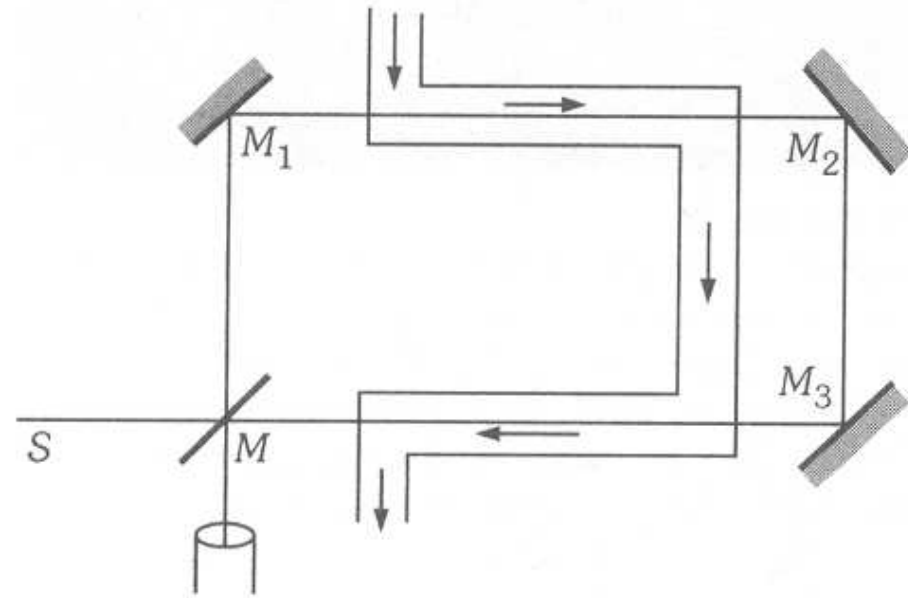
MICHELSON, 1903

FIZEAU kísérlete (1851)

- hogyan változik a fény terjedési sebessége egy mozgó közegben
- nem a várt eredményt kapta: a mozgó közegben a fénysebesség a várt $(c/n) + v$ helyett

$$c_* = \frac{c}{n} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) v$$

- értelmezés: „a mozgó közeg bizonyos mértékben magával viszi az étert”



Közeghez viszonyított sebesség

- a közeghez képest álló hajónál (u : hangsebesség)

$$2\tau = 2\frac{l}{u}$$

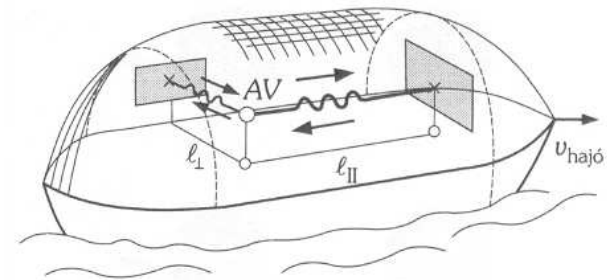
- a közeghez viszonyított mozgással párhuzamosan (v : a hajó sebessége)

$$\tau_{\parallel} = \frac{l_{\parallel}}{u-v} + \frac{l_{\parallel}}{u+v} = \frac{2l_{\parallel}}{u} \frac{1}{1-(v/u)^2}$$

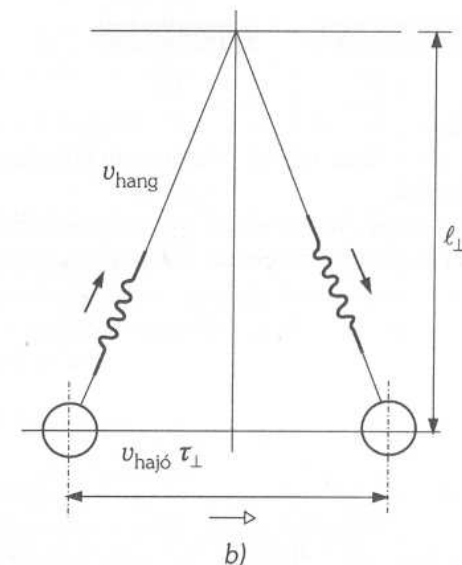
- a közeghez viszonyított mozgásra merőlegesen

$$\tau_{\perp} = \frac{2l_{\perp}}{\sqrt{u^2 - v^2}} = \frac{2l_{\perp}}{u} \frac{1}{\sqrt{1-(v/u)^2}}$$

- ezekből a hajó közeghez viszonyított sebessége meghatározható



a)



b)

A Michelson-kísérlet (1881, 1887)

- ALBERT ABRAHAM MICHELSON (1852–1931) és EDWARD W MORLEY (1838–1923) próbálta az éterhez viszonyított sebességet kimérni; adott állásban, majd 90°-kal elforgatva

- nem mutatott ki semmiféle sebességet; magyarázat: „a Föld magával ragadja a körülötte lévő étert”

- újabb megvalósítás: lézerekkel; a lézer frekvenciája:

$$n\lambda = 2l, \Rightarrow \nu = c/\lambda = c/(2l/n) = nc/(2l)$$

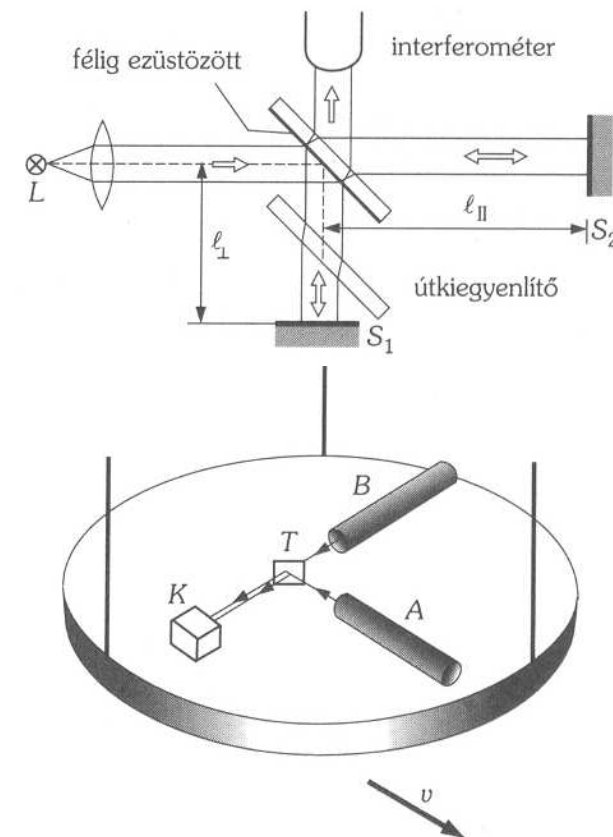
- a haladási iránnyal párhuzamosan

$$\nu_{\parallel} = \frac{nc}{2l_{\parallel}} \frac{1}{\kappa^2}, \text{ ahol } \kappa := \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

- a haladási irányra merőlegesen:

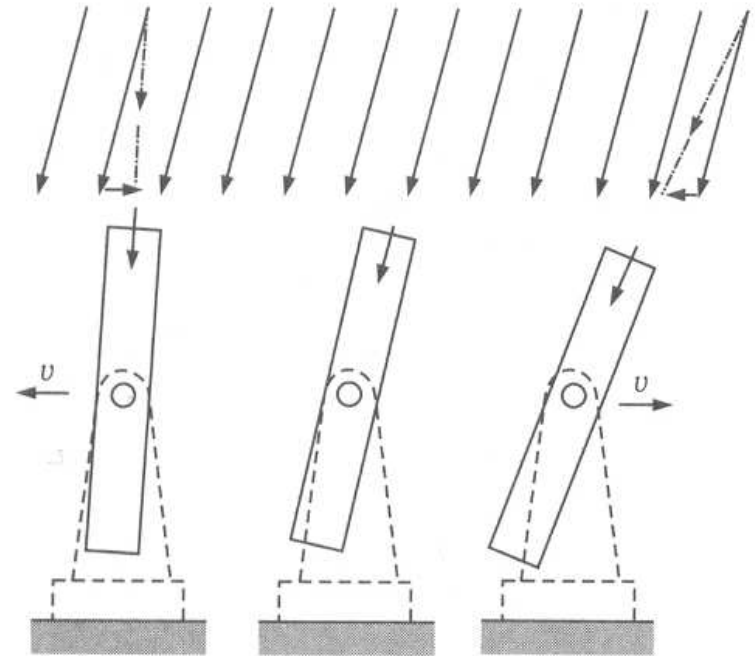
$$\nu_{\perp} = \frac{nc}{2l_{\perp}} \frac{1}{\kappa}$$

- nincs különbség a frekvenciák között



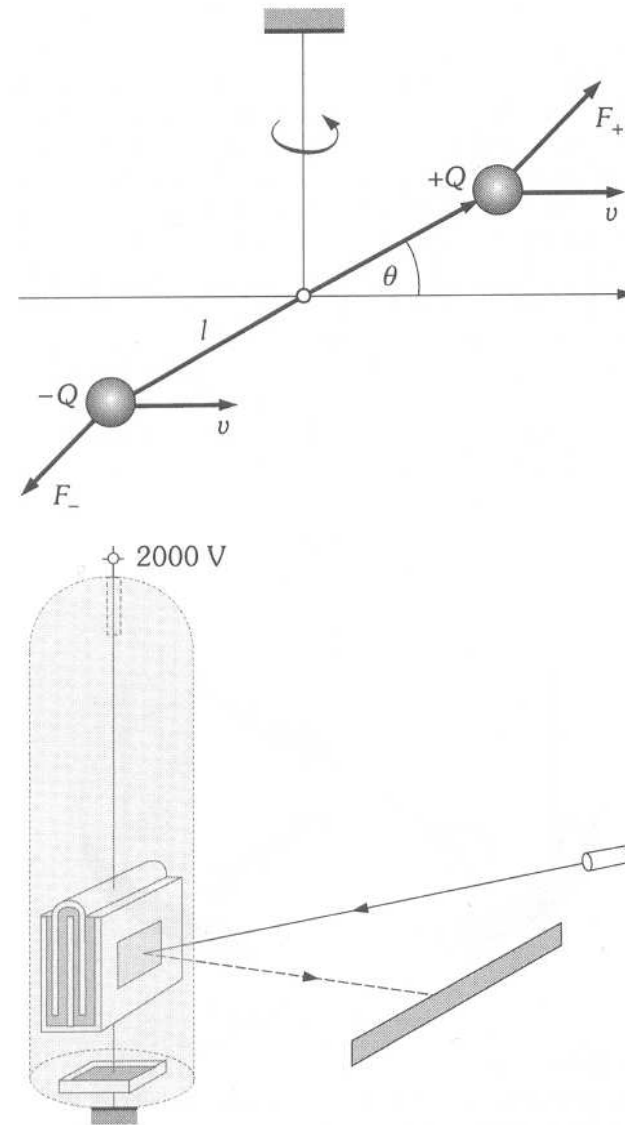
Aberráció

- JAMES BRADLEY (1692–1762): egy csillag megfigyelésekor a távcső tengelyét kissé más irányba kell állítani attól függően, hogy a Föld milyen mozgást végez a csillagból jövő fény irányához képest (1728)
- ez arra utal, hogy a Föld a nyugvó éteren keresztülhalad anélkül, hogy magával ragadná

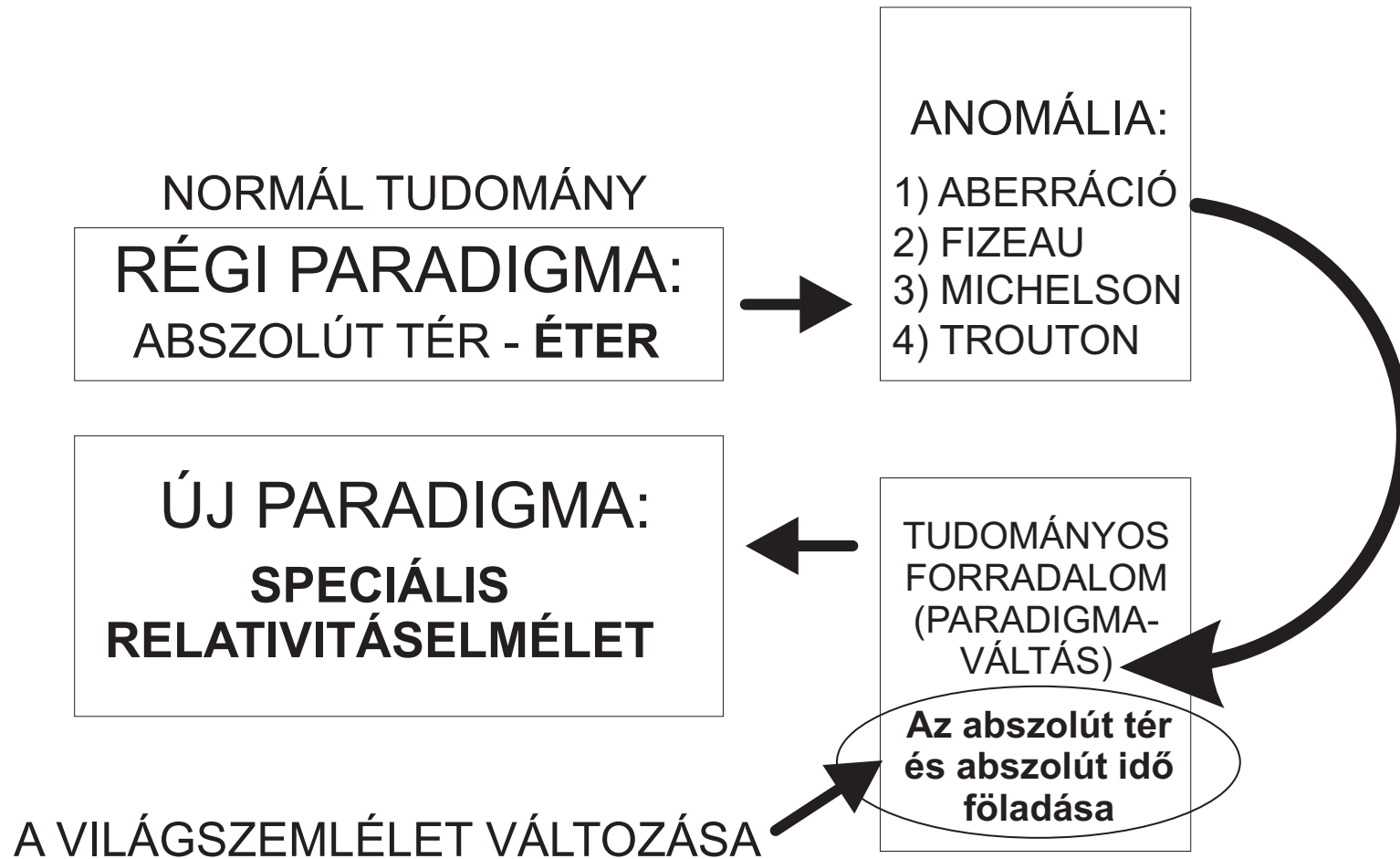


Elektromosság és abszolút mozgás

- az éterhez képest mozgó töltés áramot jelent \Rightarrow két töltés közt mágneses erőhatás is föllép
- a Föld nagy sebességgel mozog, a rajta nyugvó töltések közötti mágneses hatásnak torziós ingakíséréssel kimutathatónak kell lennie
- TROUTON és NOBLE kísérlete 1903-ban: nincs mágneses erőhatás



Példa egy tudományos forradalomra



A speciális relativitáselmélet előképe

- WOLDEMAR VOIGT (1850–1919): milyen alakúnak kell lennie az álló és a mozgó koordinátarendszer közti kapcsolatnak, ha azt akarjuk, hogy a fény sebessége mindkettőben ugyanakkora legyen
- már föladata az abszolút idő fogalmát
- a fény terjedését leíró egyenlet:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

Transzformációs formulák	
GALILEI	VOIGT
$x' = x - vt$	$x' = x - vt$
$y' = y$	$y' = y \sqrt{1 - \beta^2}$ ($\beta := v/c$)
$z' = z$	$z' = z \sqrt{1 - \beta^2}$
$t' = t$	$t' = t - \frac{v}{c^2} x$
nem invariáns	invariáns

A speciális relativitáselmélet: LORENTZ

- a Michelson–Morley-kísérlet negatív eredményét próbálta értelmezni 1892-től
- GEORGE FRASER FITZGERALD-dal (1851–1901) egyidőben állította föl a kontrakcióhipotézist
- a rudak hossza a mozgás irányában megrövidül $1 : \sqrt{1 - \beta^2}$ arányban („az éterrel való kölcsönhatás”)
- 1899-re eljutott a térkoordináták helyes transzformációjához
- az időtranszformációt rosszul adta meg, de arra rájött, hogy az időt is transzformálni kell
- mindezek ellenére kitartott az abszolút tér és az abszolút idő szükségessége mellett; a transzformációs formulákat csak számítási segédeszköznek tekintette

JULES HENRI POINCARÉ (1854–1912)

- 1904-es amerikai előadásában már az órák fényjelekkel való szinkronizálása is megjelent
- 1905-ben beérkezett, 1906-ban megjelent cikkében már szinte a teljes matematikáját kifejtette a relativitáselméletnek
- rámutatott, hogy a Lorentz-transzformáció az (x, y, z, ict) négydimenziós térben való elforgatásként is értelmezhető

LORENTZ-TRANSZFORMÁCIÓ

$$x \mapsto x' = \frac{1}{1 - \beta^2} (x - vt) \quad \left(\beta := \frac{v}{c} \right),$$

$$y \mapsto y' = y,$$

$$z \mapsto z' = z,$$

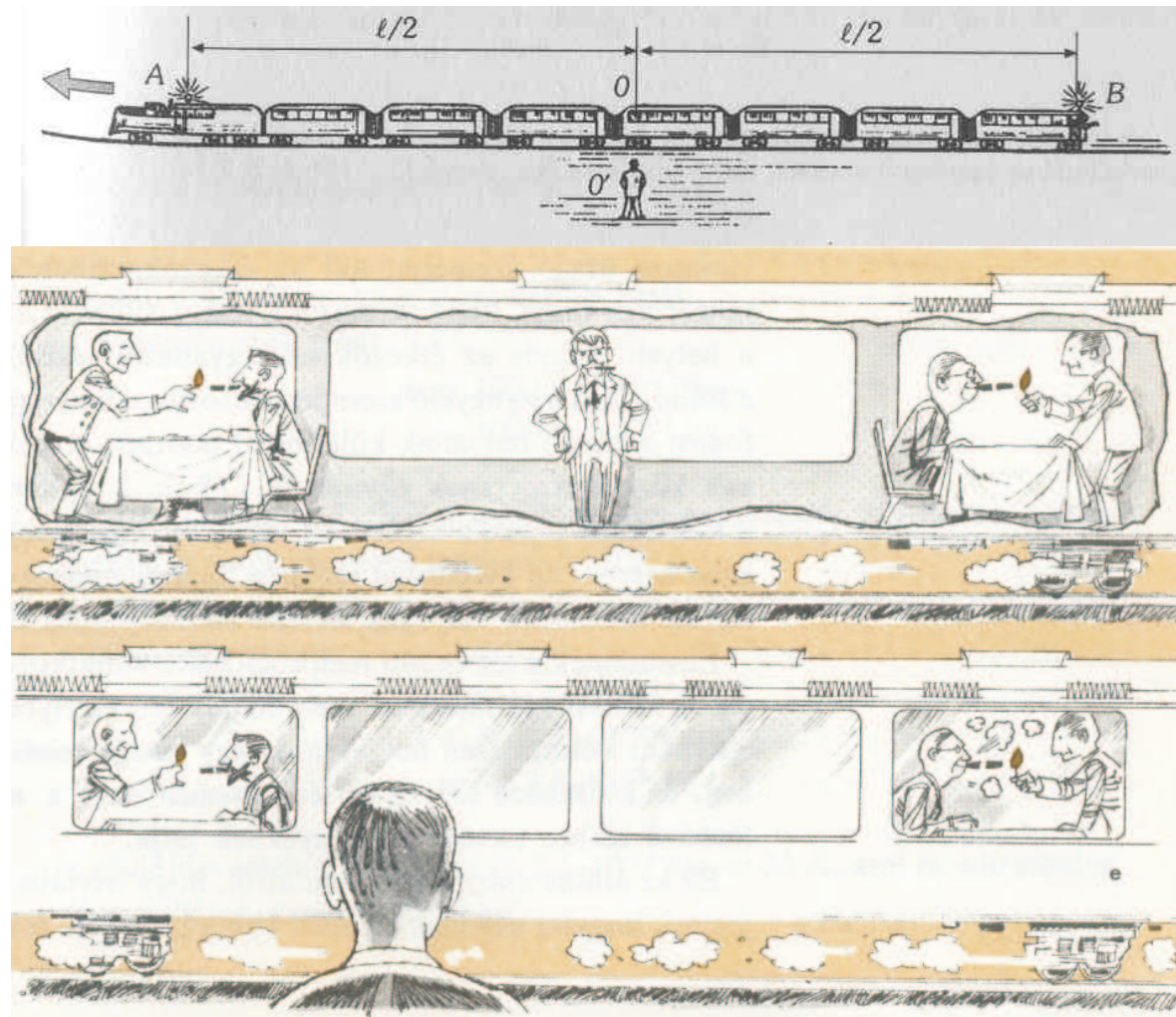
$$t \mapsto t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$$

Mi maradt EINSTEINnek?

- a mozgó testek elektrodinamikájáról szóló cikke 1905-ben jelent meg
- a maxwelli elektrodinamika aszimmetriája: ha a mágnes mozog és a vezető áll, akkor változó elektromos tér jön létre és az hoz létre áramot, ha a mágnes áll, és a vezető mozog, nincs elektromos tér, de a mágneses tér által a töltésekre kifejtett erő az előzővel megegyező áramot kelt
- egy levelében saját jelentőségét abban jelölte meg, hogy nem az elektrodinamikából, hanem általános elvekből vezette le a speciális relativitás törvényeit:
 1. az egymáshoz képest egyenes vonalú, egyenletes mozgást végző koordinátarendszerek egyenértékűek **(nincs kitüntetett inerciarendszer – nincs abszolút tér)**
 2. a fény terjedési sebessége a fényforrás mozgási állapotától függetlenül állandó

Egyidejűség

az egyidejűség koordinátarendszer-függő

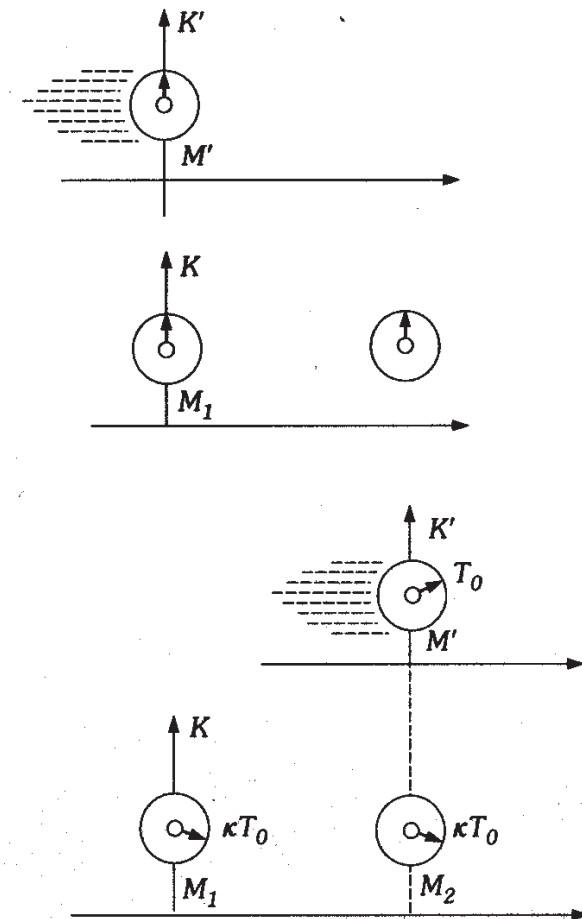


Idődilatació

- $t = 0$ időpillanatban M_1 és M' megfigyelők összehangolják az óráikat; a K' koordinátarendszerben T_0 idő elteltével a K -beli M_2 órája κT_0 időt mutat, ahol

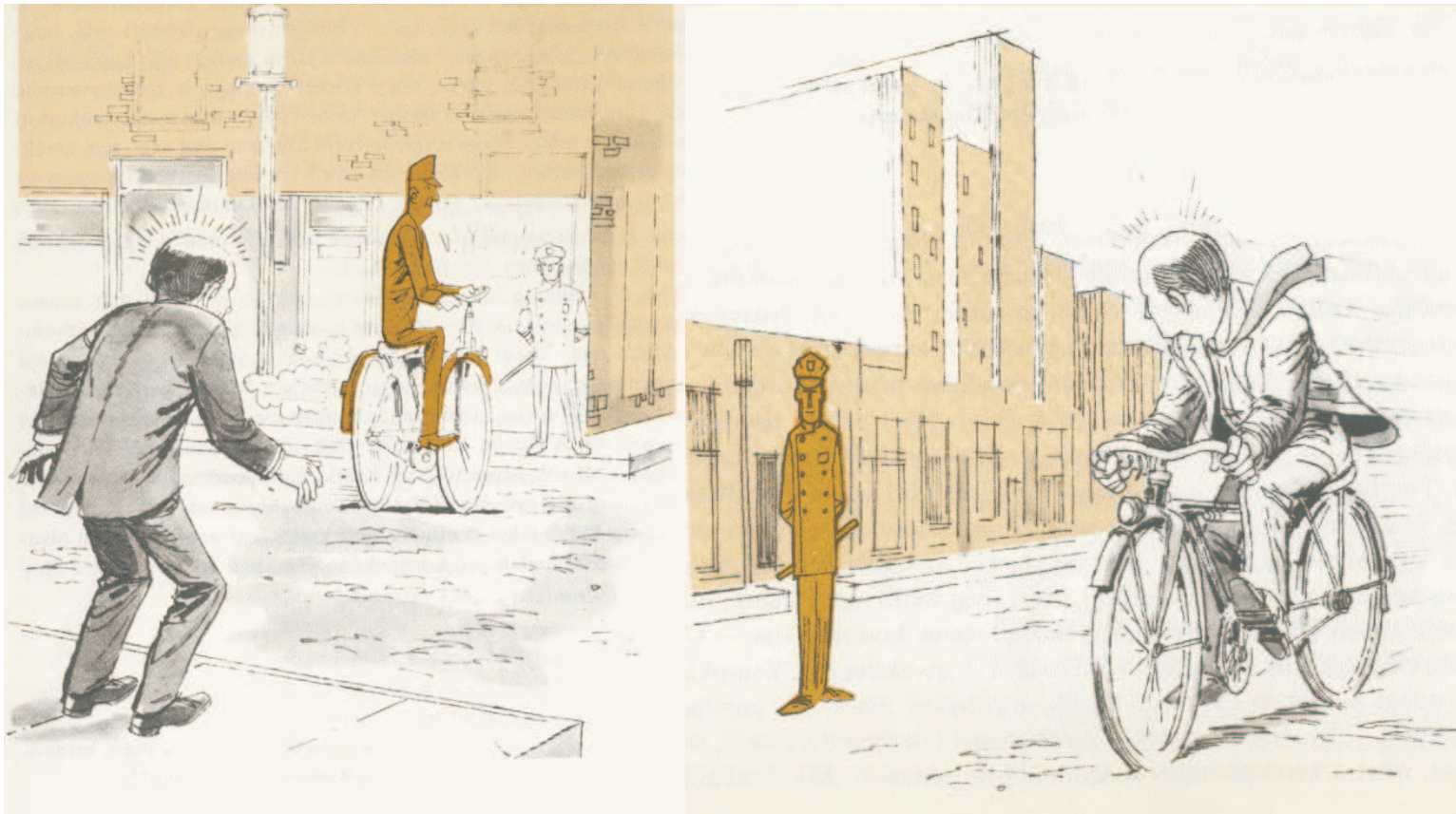
$$\kappa := \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1$$

- a K -ból nézve a K' -beli órák lassabban járnak, és ez fordítva is igaz: a K' -ből nézve a K -beli órák járnak lassabban

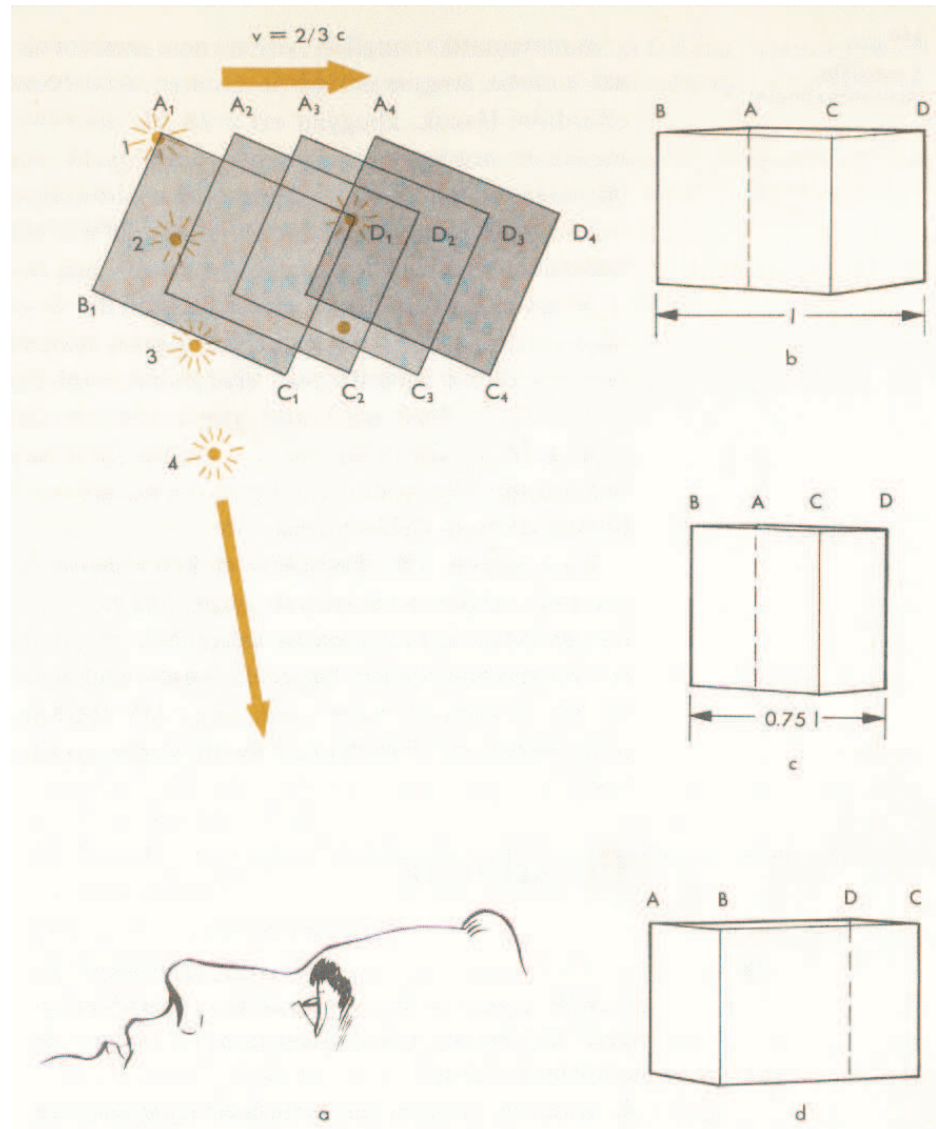


Hosszúságkontrakció

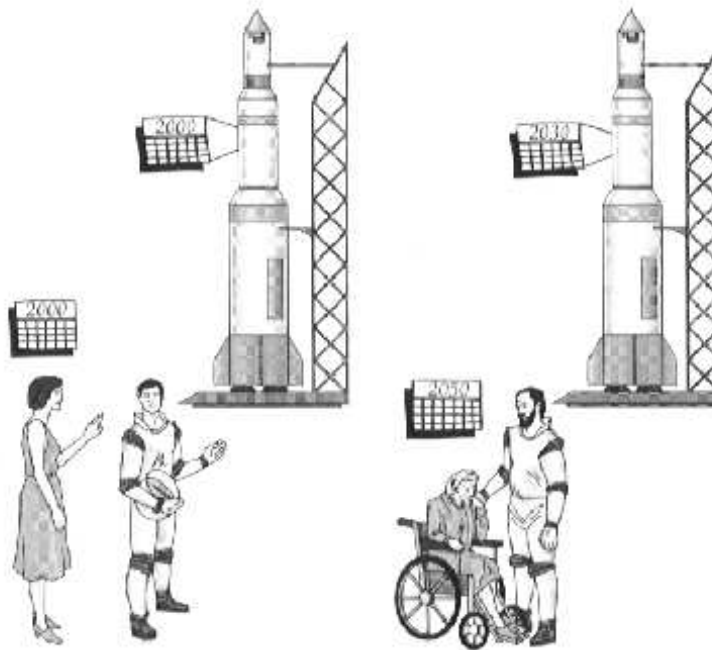
ha egy rúd hossza K' -ben l_0 , az K -ból nézve $l = \frac{l_0}{\kappa} < l_0$
hosszúságúnak látszik



Mit lát a megfigyelő?



Ikerparadoxon



- az űrhajós számára lassabban telik az idő; ám az űrhajóból nézve a Földön telik lassabban \Rightarrow ???
- a paradoxon föloldása: a két koordinátarendszer nem ekvivalens: az űrhajó gyorsul, az űrhajós inerciaerőt tapasztal

Tehetetlen és súlyos tömeg

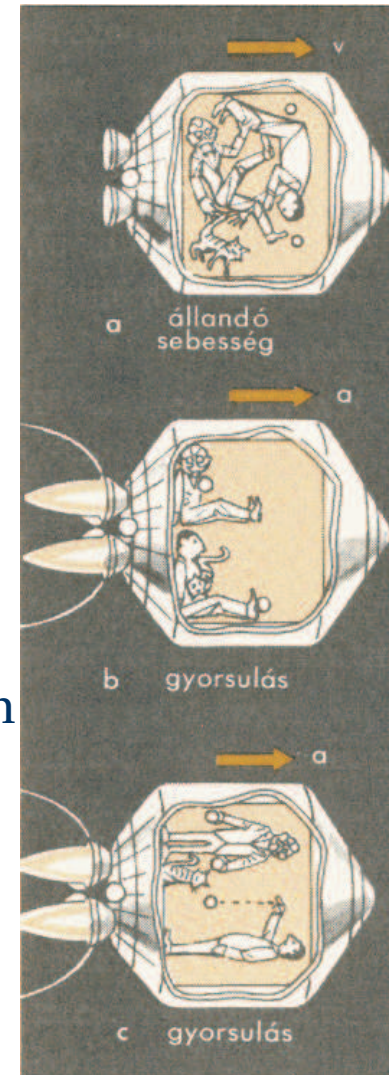
- tehetetlen tömeg

$$\mathbf{F} = m_t \mathbf{a}$$

- súlyos tömeg

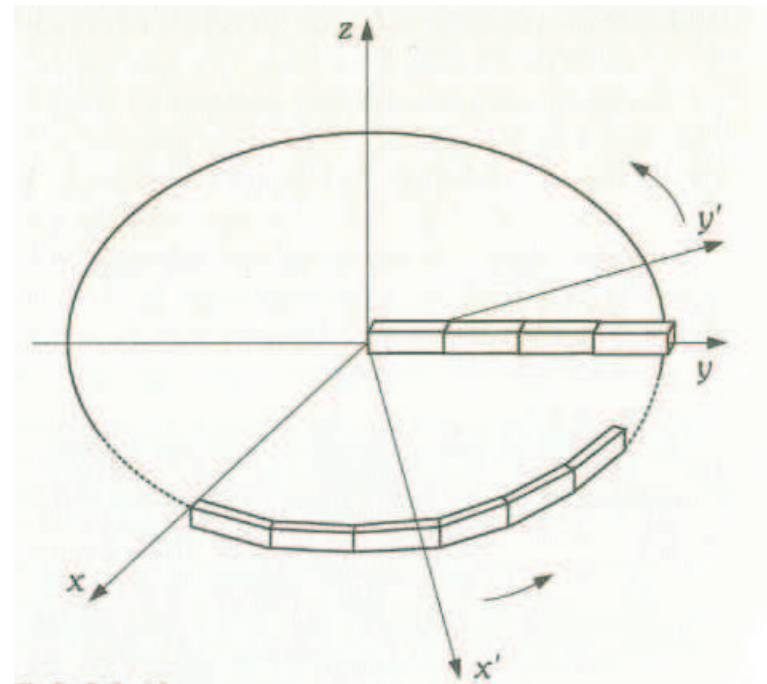
$$\mathbf{F}_g = -\gamma \frac{m_s M_s}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$$

- a kettő fogalmilag különbözik: a tehetetlenség mértéke, illetve gravitációs töltés
- EÖTVÖS LORÁND (1848–1919): torziós ingájával 1 : 200 000 pontossággal bizonyította a tehetetlen és a súlyos tömeg számszerű azonosságát
- EINSTEIN: a számszerű azonosság fogalmi azonosságot takar; gyorsuló koordinátarendszerből nézve az inerciaerő a gravitációs erőtől megkülönböztethetetlen

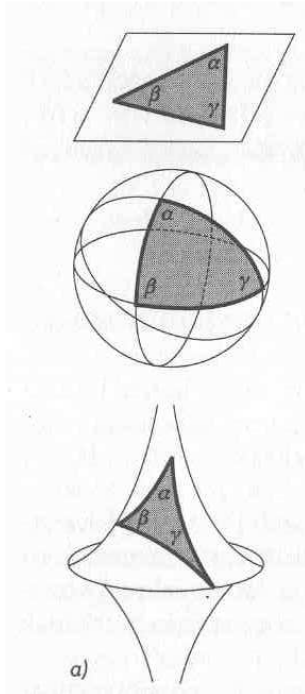


Az euklideszi geometria elégtelensége

- a K koordinátarendszerhez képest forgó K' koordinátarendszerben egy kör kerületén lévő méterrudak Lorentz-kontrakciót szenvednek, míg a kör átmérője mentén nem
- a kör kerületének és átmérőjének viszonya nem π lesz
- egymáshoz képest gyorsuló koordinátarendszerekben **nem érvényes az euklidészi geometria**



Görbült terek



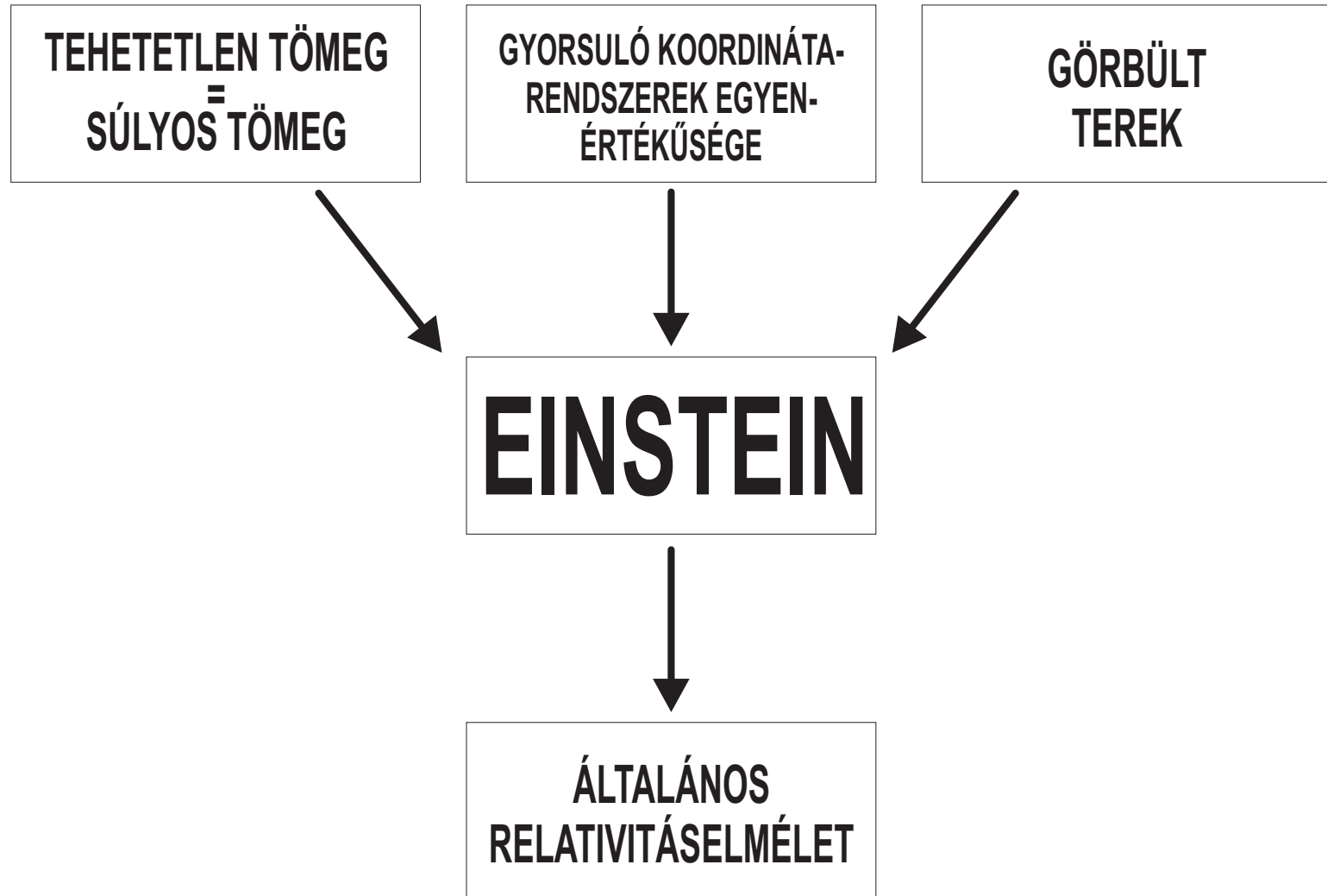
- KARL FRIEDRICH GAUSS (1777–1855): földmérői tevékenységétől ihletve vizsgálta a görbe felületek belső geometriáját – a felület azon tulajdonságait, amelyet a felületen magán végzett mérések segítségével meghatározhatók

- GEORG FRIEDRICH BERNHARD RIEMANN (1826–1866): a Pithagorasz-tételt általánosította tetszőleges n -dimenziós görbült térre

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 \Rightarrow ds^2 = \sum_{i,k} g_{ik} dx_i dx_k$$

- g_{ik} a tér geometriáját leíró mértékfüggvények; RIEMANN szerint a meghatározóikat a fizikában kell keresni, a „kötőerőkben”
- W K CLIFFORD, RIEMANN angolra fordítója: a tér görbülete a térben lévő anyaggal van kapcsolatban

EINSTEIN jelentősége



Az általános relativitáselmélet

- tetszés szerinti mozgást végző koordinátarendszerek ekvivalenciáját mondja ki
- a **gravitáció új elméletét adja**: a gravitációs erőhatások nem mint erőhatások jelentkeznek, hanem az **anyag a tér geometriáját alakítja** úgy, ami az adott gyorsuláshoz vezet
- a magára hagyott test egy *geodetikus vonal* mentén mozog
- igazolás: a fény elhajlása erős gravitációs térben; a Merkúr perihéliumának eltolódása; a spektrumvonalak eltolódása erős gravitációs térben
- sikerült a gravitációt a tér szerkezetére visszavezetni, de az elektromágneses teret nem
- EINSTEIN élete végéig kereste az egységes térelméletet, amely az elektromágneses teret is magába foglalja
- mai próbálkozások: Nagy Egyesítés, szuperhúrelméletek

Mi az idő?

- SZENT ÁGOSTON (354–430): a tudat az idő forrása
 - ◆ az idő nem a testek mozgásából adódik, a testek mozgását mérjük az idővel
 - ◆ az időt a lélek méri
- MARTIN HEIDEGGER (1889–1976): az idő a tudat szülője
 - ◆ az idő az a horizont, amelyen belül létmegértés lehetséges
 - ◆ a létező létének az értelme az időbeliség
 - ◆ amiből a *jelenvalólet* létét megéri és értelmezi, az az idő
- termodinamika: az entrópia az időnek megfordíthatatlanságot ad – pl a parfümösuvegből kiszabaduló illatanyagok nem fognak visszamenni a palackba; az egyes ütközések maguk megfordíthatók, de az egész folyamat nem

Az abszolút idő és tér trónfosztása

ABSZOLÚT TÉR – ABSZOLÚT IDŐ

SPECIÁLIS RELATIVITÁSELMÉLET

- az abszolút időt rombolja le
- az egyidejűség koordinátarendszer-függő
- a teret és az időt a négydimenziós térbe olvasztja egybe (Minkowski-tér)
- a tér szerkezete állandó: mint négydimenziós tér, éppolyan merev és abszolút, mint a newtoni tér

ÁLTALÁNOS RELATIVITÁSELMÉLET

- az abszolút teret rombolja le
- a tér szerkezete a benne lévő anyagtól függ

Relativitáselmélet és a Posztmodern

RELATIVITÁSELMÉLET	POSZTMODERN
Előtte: abszolút tér és idő	Előtte: központi viszonyítási pontok – középkor: Isten – újkor: a racionális ember
a koordinátarendszerek egyenértékűsége	a különböző nézetrendszerek egyenértékűsége („erkölcsi relativizálás”)
nincs kitüntetett koordinátarendszer	nincs transzcendentális legitimáció

*„Szabadságra hiába vágysz: a Tér,
csak gumicella, kerek, mint a föld.
Mérd mélyét, s ónod hátul visszatér,
a poklok mélyén vak sátán üvölt.”*

William Empson (Rakovszky Zsuzsa fordítása)

Fölhasznált irodalom

- SIMONYI KÁROLY: *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, 1998, Akadémiai Kiadó
- GEORGE GAMOW: *Fizika*. Budapest, 1973, Gondolat
- JACK MEADOWS (SZERK.): *A tudomány csodálatos világa*. Budapest, 1990, Helikon
- RICHARD FEYNMAN: *A fizikai törvények jellege*. Budapest, 1984, Magvető
- MARTIN HEIDEGGER: *Lét és idő*. Budapest, 2001, Osiris