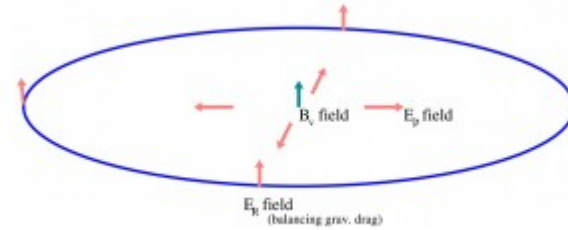
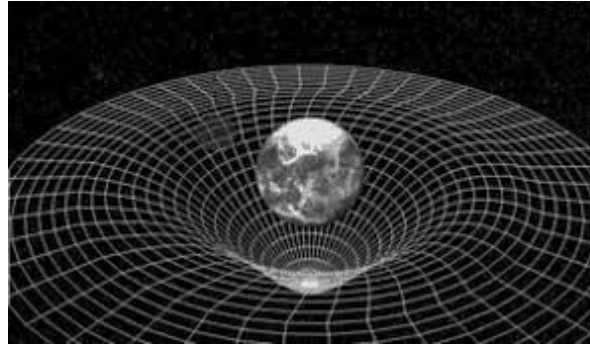


Görbült téridő laboratóriumban?



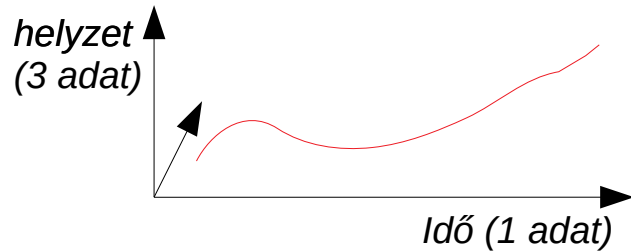
László András

HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, RMI NFO

Gábor 100 Konferencia, Kolozsvár

2024.11.15

- A téridő az út–idő diagram absztrakciója.

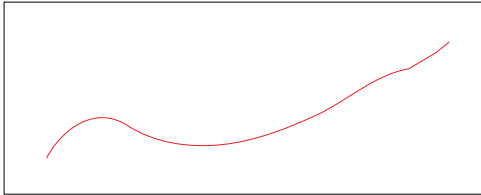


- Erre mondjuk, hogy a „a téridő 4 dimenziós”.
- Mozgásegyenlet: úgymond $F = m a$. De pontosan mit jelent ez?

$$\ddot{x}(t) = \frac{1}{m} F(t, x(t), \dot{x}(t)) \quad \leftarrow \text{Jósolni lehet vele!}$$

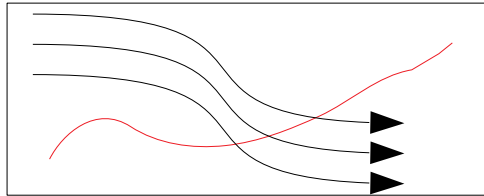
- A mozgásegyenletek szerkezetének átláthatóbbá tétele végett együtt könyveljük.

- A téridő a lehetséges történések halmaza:



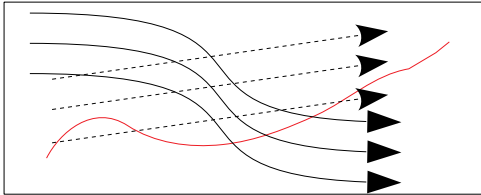
- A benne haladó vonalak a történetek.
- Négy paraméterrel lehet megcímezni egy-egy pontját (ez csak könyveléstechnika).
- Van benne eltolás. Erre mondjuk, hogy a téridő egy négydimenziós sík.

- A téridő a lehetséges történések halmaza:



- A benne haladó vonalak a történetek.
- Négy paraméterrel lehet megcímezni egy-egy pontját (ez csak könyveléstechnika).
- Van benne eltolás. Erre mondjuk, hogy a téridő egy négydimenziós sík.
- Egy megfigyelő egy „közeg”, amely a testén megtapasztalja a történéseket.
(Mint egy sodródó, deformálható szenzortest.)

- A téridő a lehetséges történések halmaza:



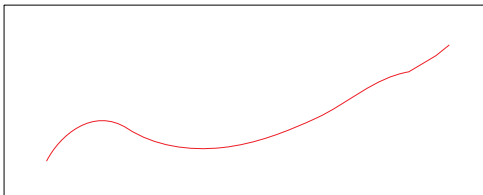
- A benne haladó vonalak a történetek.
- Négy paraméterrel lehet megcímezni egy-egy pontját (ez csak könyveléstechnika).
- Van benne eltolás. Erre mondjuk, hogy a téridő egy négydimenziós sík.
- Egy megfigyelő egy „közeg”, amely a testén megtapasztalja a történéseket.
(Mint egy sodródó, deformálható szenzortest.)
- Egy másik megfigyelő máshogy tapasztalja meg a vele érintkező dolgokat.
(Egy másik sodródó, deformálható szenzortest.) Inerciális: jóban van az eltolással. ⁵

- A téridő a lehetséges történések halmaza:



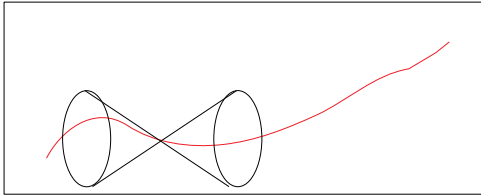
- Newtoni téridő: VAN abszolút időszeletelés, mindenütt érvényes óra.

- Relativisztikus téridő:



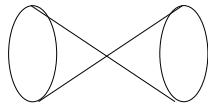
- Ugyanez, csak nincs abszolút időszelvényezés.

- Relativisztikus téridő:



- Ugyanez, csak nincs abszolút időszelvényezés.
- Van viszont abszolút fényterjedés, kúpszerű alakzatban.
Michelson-Morley kísérlet (1887),
vákuum Maxwell-egyenletek szerint is ez van (Poincaré, 1905),
tapasztalat szerint anyag nem tud fénysebességnél gyorsabban terjedni.
- Anyagterjedés nem tüntet ki sem spéci időszelvényezést, sem spéci megfigyelőt.
De fénykúpot igen!

- matekból:



$$g(\vec{a}, \vec{b})$$

(számszorzó erejéig egyértelmű)

$$g(\mu\vec{a}, \vec{b}) = \mu g(\vec{a}, \vec{b})$$

$$g(\vec{a}, \nu\vec{b}) = g(\vec{a}, \nu\vec{b})$$

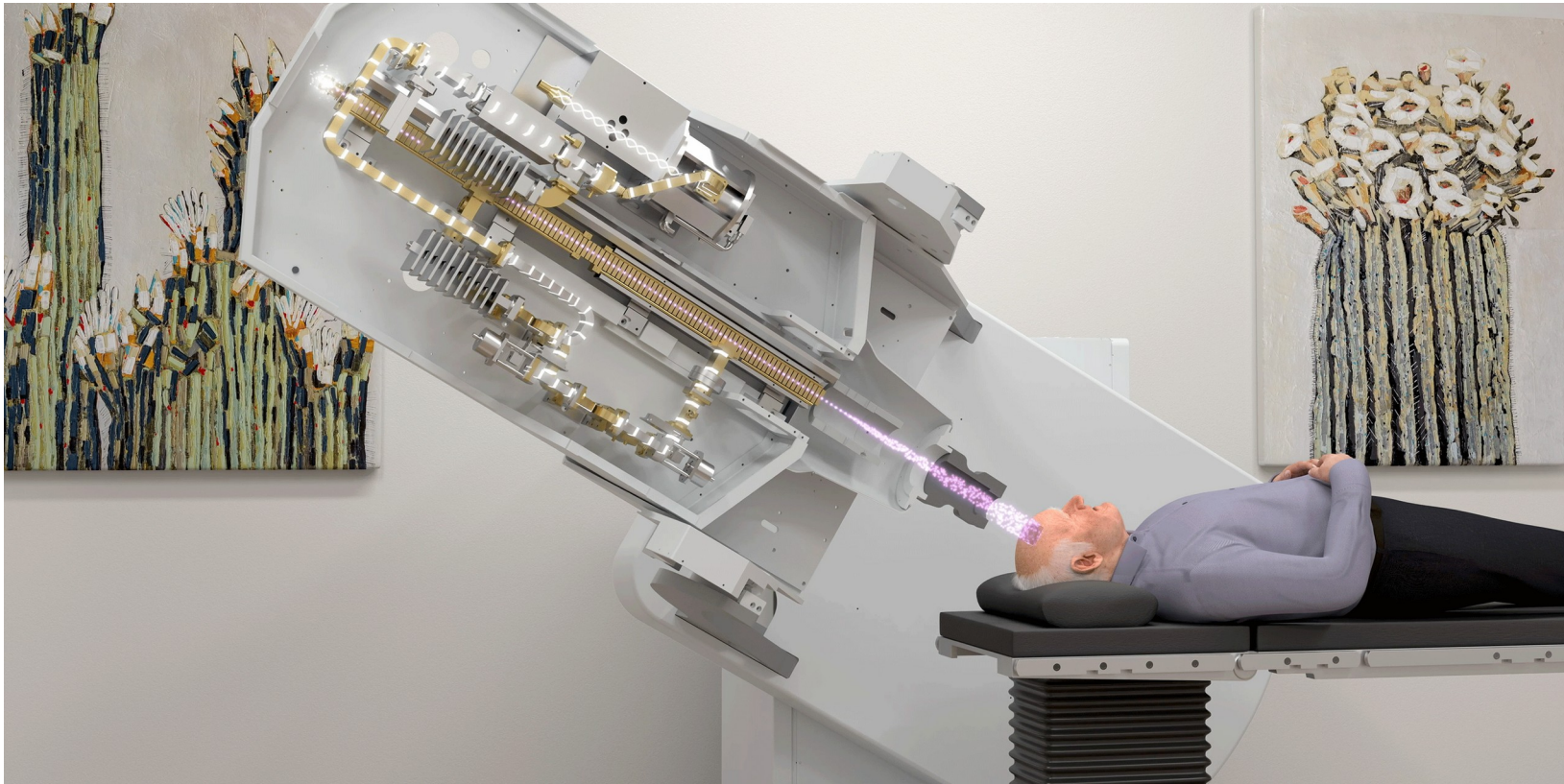
$$g(\vec{a} + \vec{a}', \vec{b}) = g(\vec{a}, \vec{b}) + g(\vec{a}', \vec{b})$$

$$g(\vec{a}, \vec{b} + \vec{b}') = g(\vec{a}, \vec{b}) + g(\vec{a}, \vec{b}')$$

$$g(\vec{b}, \vec{a}) = g(\vec{a}, \vec{b})$$

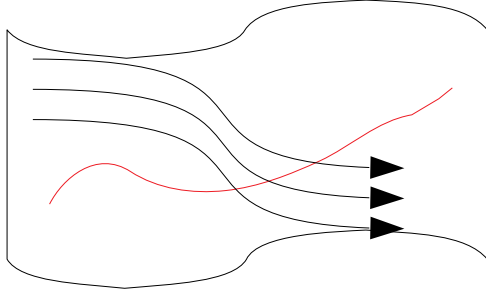
A fénykúp könyvelhető a $g(\vec{a}, \vec{a})$ nullhelyeiként.

- Rengeteg kísérleti bizonyíték, és gyakorlati alkalmazás.



Általános relativisztikus téridő:

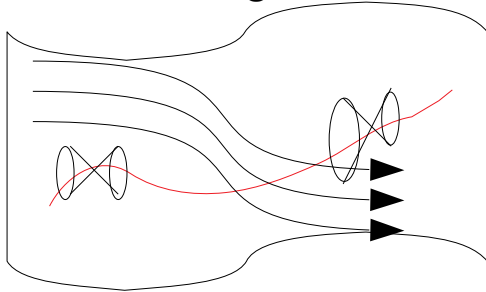
- A téridő a lehetséges történések halmaza:



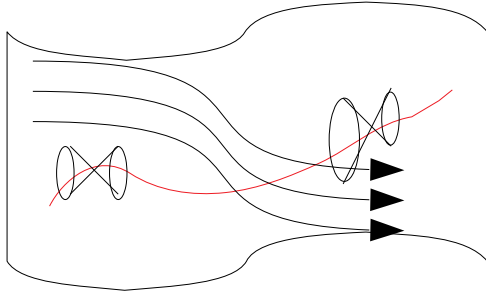
- A benne haladó vonalak a történetek.
- Négy paraméterrel lehet megcímezni egy-egy pontját könyveléstechnikailag.
- NINCS benne eltolás. Erre mondjuk, hogy a téridő egy négydimenziós, de nem sík.
- Egy megfigyelő egy „közeg”, amely a testén megtapasztalja a történéseket.
(Mint egy sodródó, deformálható szenzortest.)

Általános relativisztikus téridő:

- A téridő a lehetséges történések halmaza:



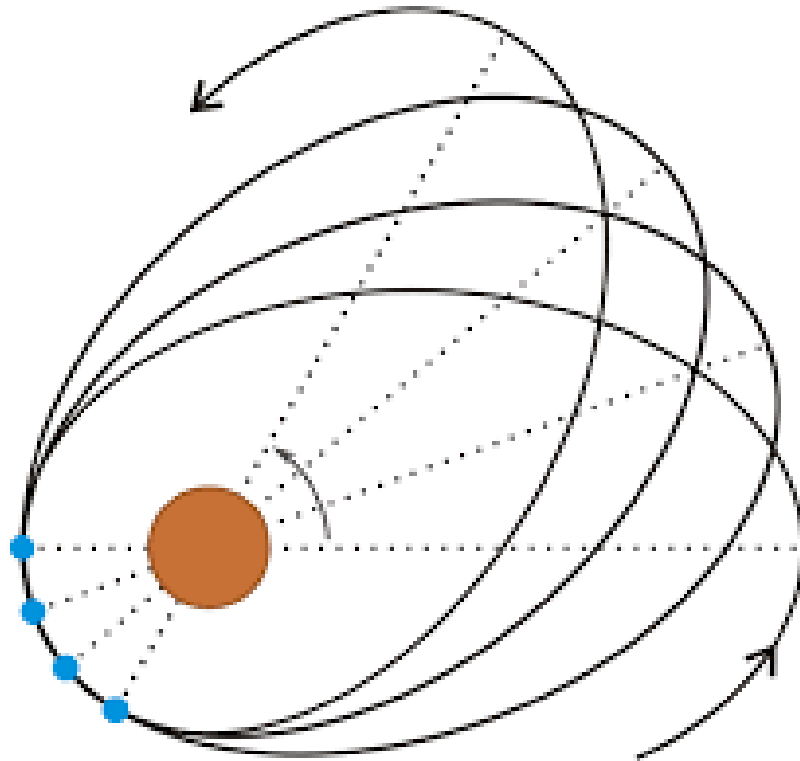
- A benne haladó vonalak a történetek.
- Négy paraméterrel lehet megcímezni egy-egy pontját könyveléstechnikailag.
- NINCS benne eltolás. Erre mondjuk, hogy a téridő egy négydimenziós, de nem sík.
- Egy megfigyelő egy „közeg”, amely a testén megtapasztalja a történéseket.
(Mint egy sodródó, deformálható szenzortest.)
- Pontról pontra dülöngélő fénykúp, úgymond „fénykúp mező”. $g(\vec{a}, \vec{b})$ is dülöngél. 12



- Ráutaló magatartás:
 - newtoni klasszikus gravitációelmélet elég jó (égi mechanika, ágyugolyó stb).
 - gyenge ekv.tény: tehetetlen tömeg = súlyos tömeg (Eötvös kísérletek, 1908).
 - mi van, ha a gravitáció pont olyan mint egy tehetetlenségi erő? (erős ekv elv).
 - a specrel elég jó, határesetben azt vissza kéne adni.
 - a fenti egy patkolása a specrelnek, és megmagyarázza az ekv.elvet.
 - kiderül, hogy tényleg elég jó: nevezetes áltrel kísérletekből.

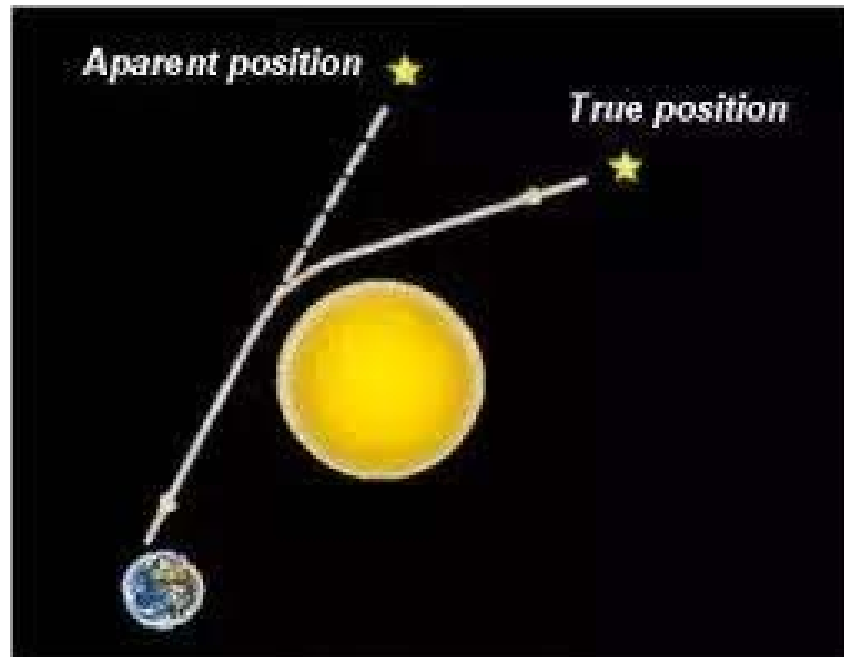
Nevezetes ártrel kísérletek:

- A Merkúr perihélium elfordulása (Newcomb, 1882-):



ártrelben is megmarad a pálya síkja, de nem záródik ellipszisként

- Fényelhajlás a Nap mellett (Eddington, 1919):

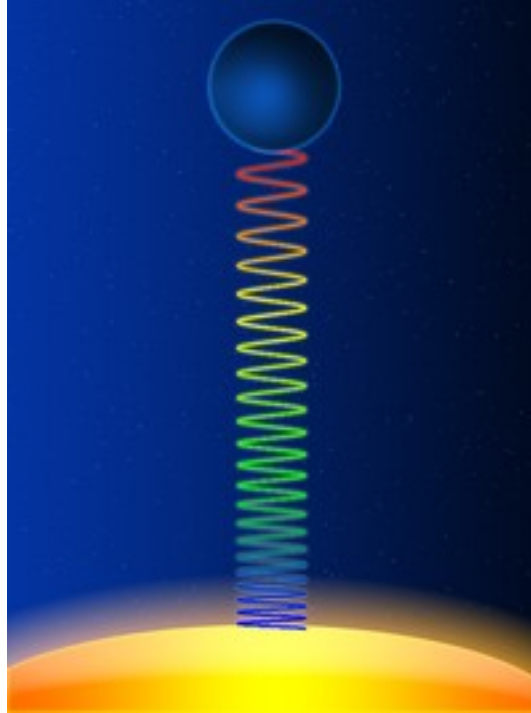


specrel + kézzel előírt tömegvonzás barkács modell is ad erre jóslatot:

$E = p c$, majd $m = E / c^2$ -nyi tömeget newtoni gravitációsan vonz a Nap

ez 2-es faktoral eltér az áltrel által jósolttól.

- Gravitációs vöröseltolódás (Pound-Rebka, 1959):



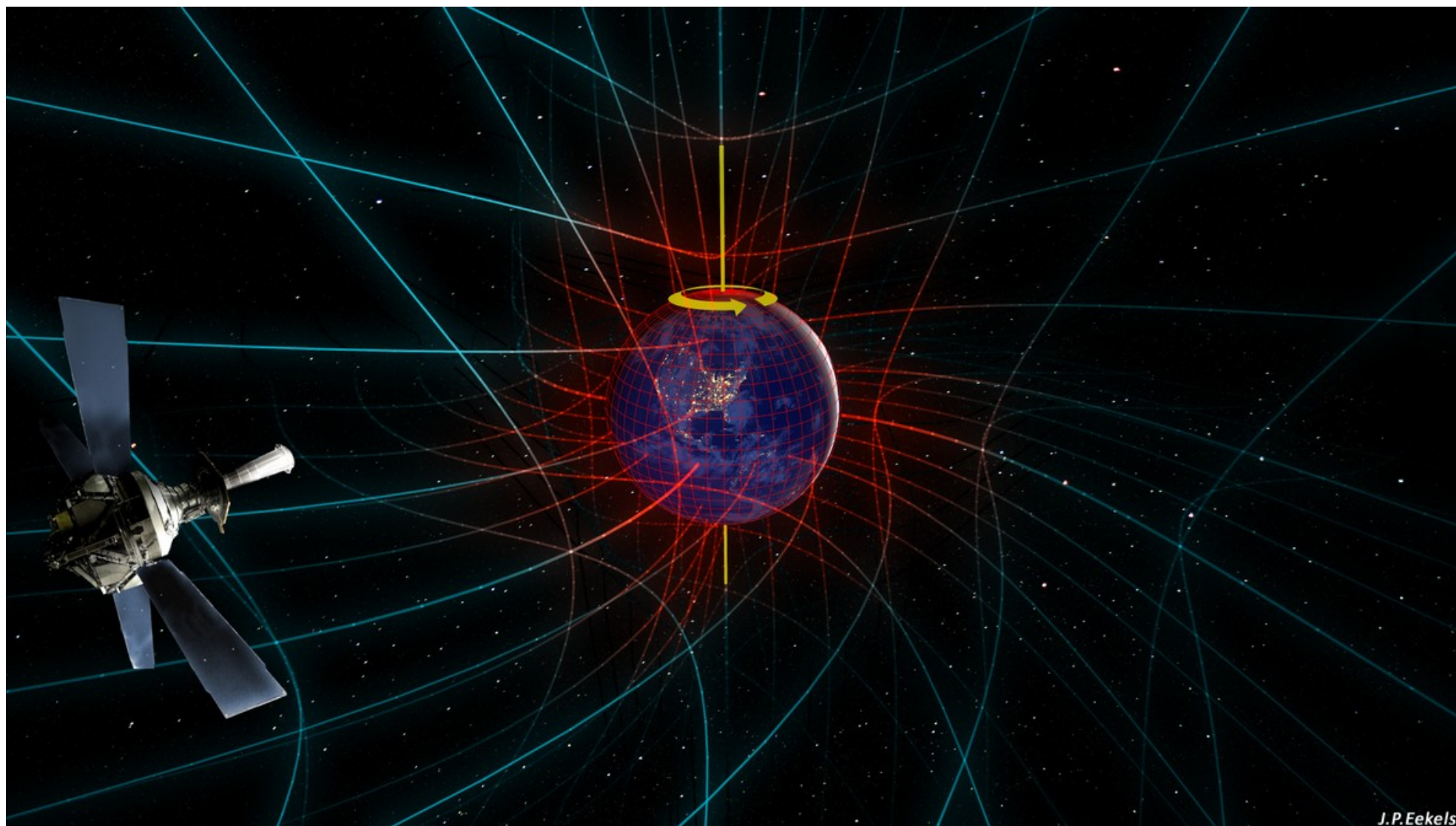
megerősíti Gravity Probe A műholdkísérlet (1976), Haefele-Keating repülős (1971)

ma már a napi gyakorlat része: GPS. Földön 10^{-9} nagyságrendű.

Az áltrel gyakorlati alkalmazása:

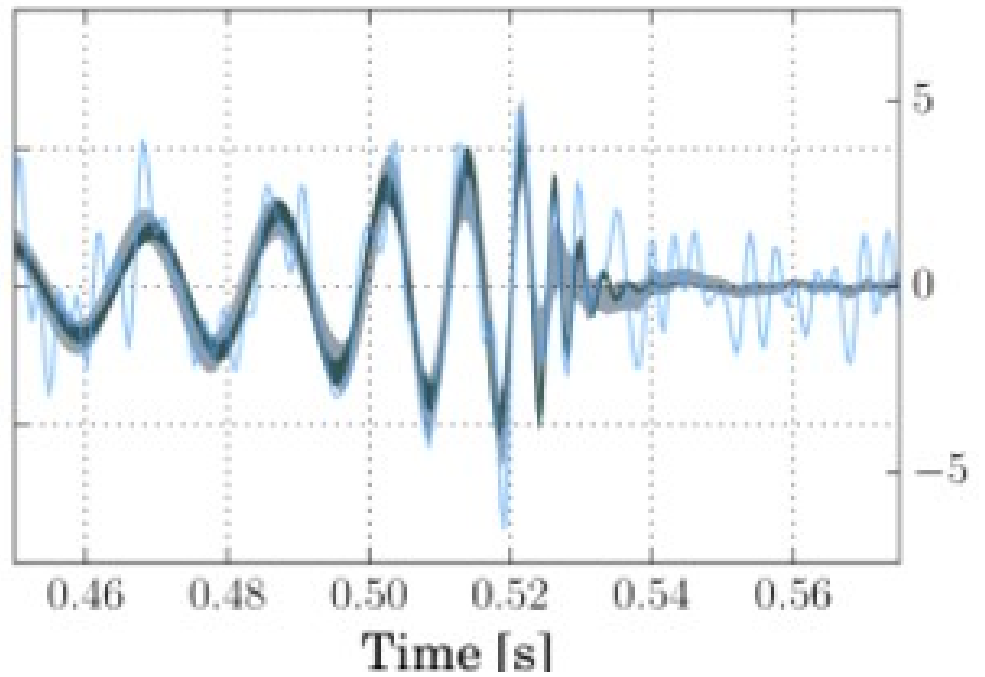
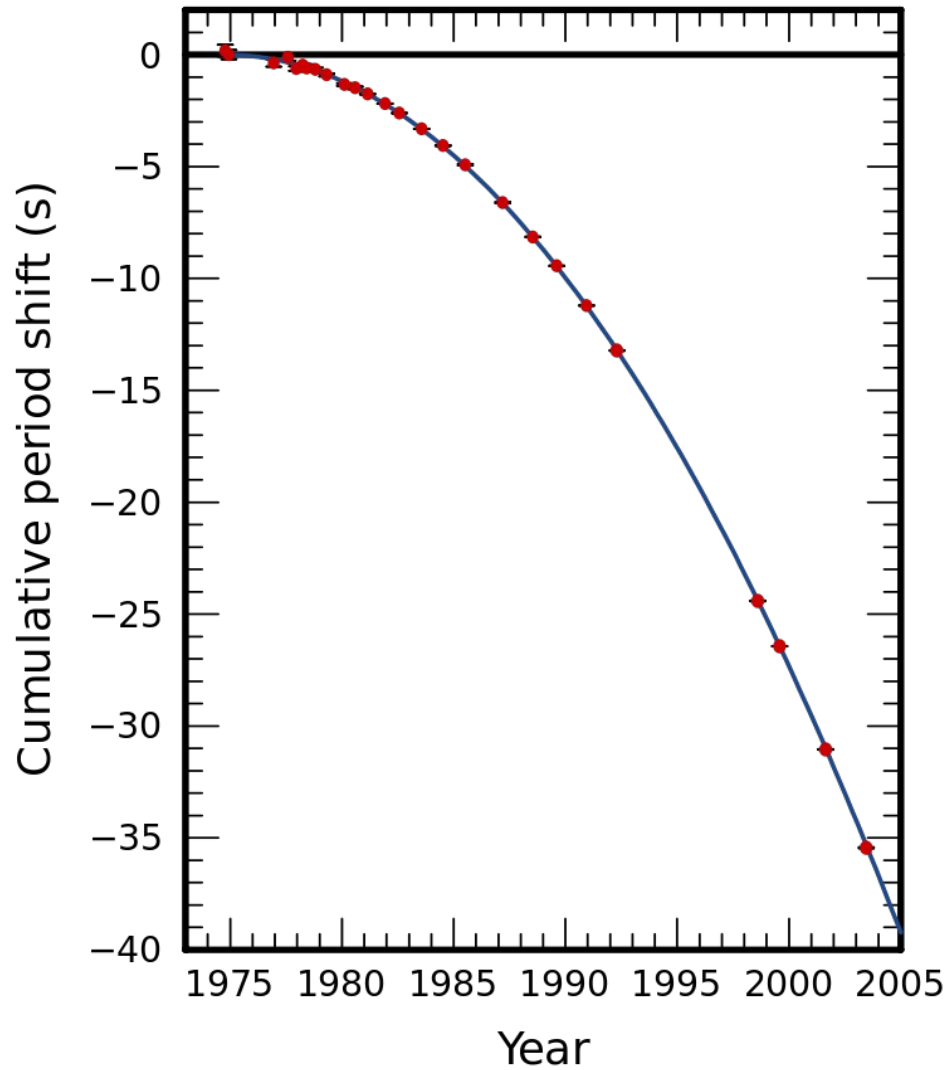


- Pörgettyűk eltekedése a gravitációs mezőben (Gravity Probe B, 2004):



J.P.Eekels

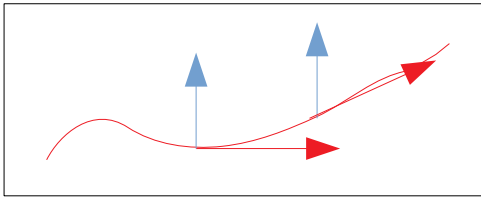
- Gravhullámok (Hulse-Taylor 1975-1993 , LIGO-VIRGO 2017):



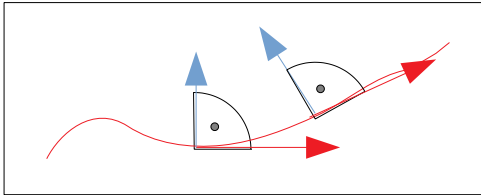
Pörgettyűk viselkedése a relativitáselméletben

- Newtoni mechanikában: perdület az eredeti irányát megőrizni igyekszik.

Ezzel irányítják a repülőgépeket.



- Spec / áltrel: perdület a pálya téridőbeli irányára merőlegességét megőrizni igyekszik.



(a fénykúp diktálta geometriában merőleges: $g(\vec{a}, \vec{b})=0$)

Ezért a perdület „dülöngélhet”, miközben utaztatom.

=> specrelben forog a perdület iránya, ha gyorsulva utaztatom (Thomas-precesszió)

=> áltrelben még pluszban foroghat, mert görbült a geometria (Gravity Probe B)

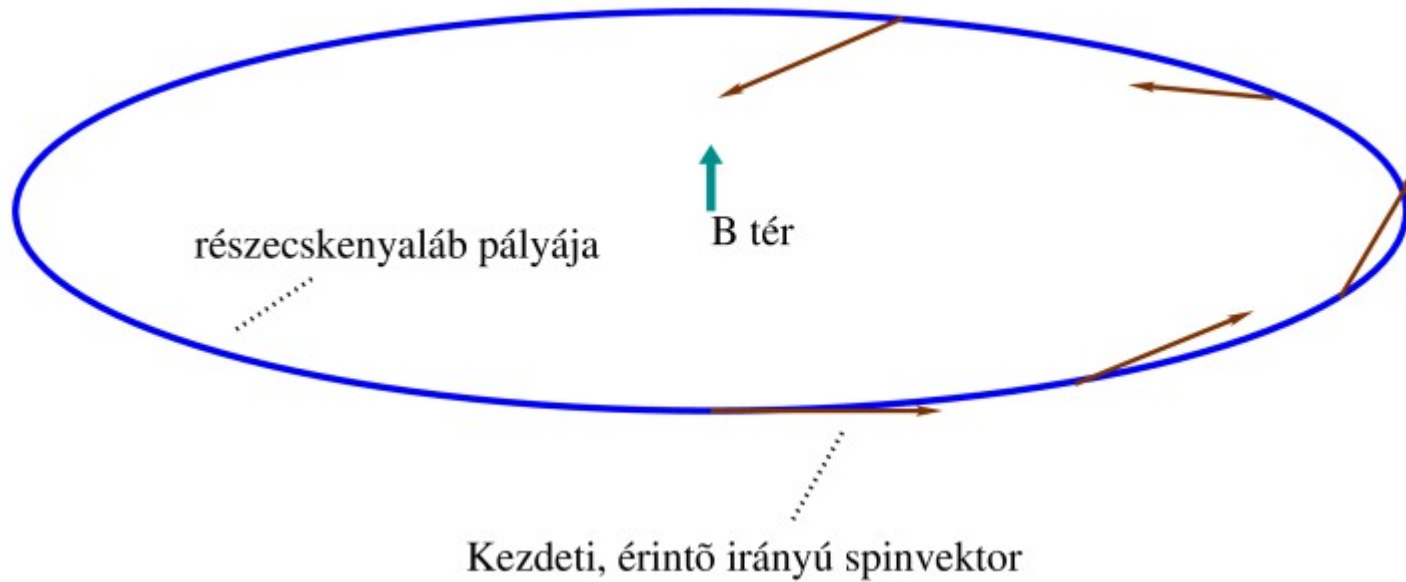
Pörgettyűk viselkedése a relativitáselméletben

- Ha elektromágnesesen töltött a részecske, akkor:
 - elektromágneses terek befolyásolják a röppályáját
 - a perdületével arányos ún. mágneses nyomatéka lehet
(ez azt jellemzi, hogy a mágneses tér mennyire tekeri el a perdület irányát)
arányosságot egy részecskére jellemző g dimenziótlan faktorra lehet jellemezni.
 - a perdületével arányos ún. elektromos nyomatéka is lehet
(ez azt jellemzi, hogy az elektromos tér mennyire tekeri el a perdület irányát)
arányosságot egy részecskére jellemző d dimenziótlan faktorra lehet jellemezni.

a kinematikai hatások (Thomas-precesszió) és

az elektromágneses terek közvetlen forgatónyomatéka is tekeri a szegény perdületet

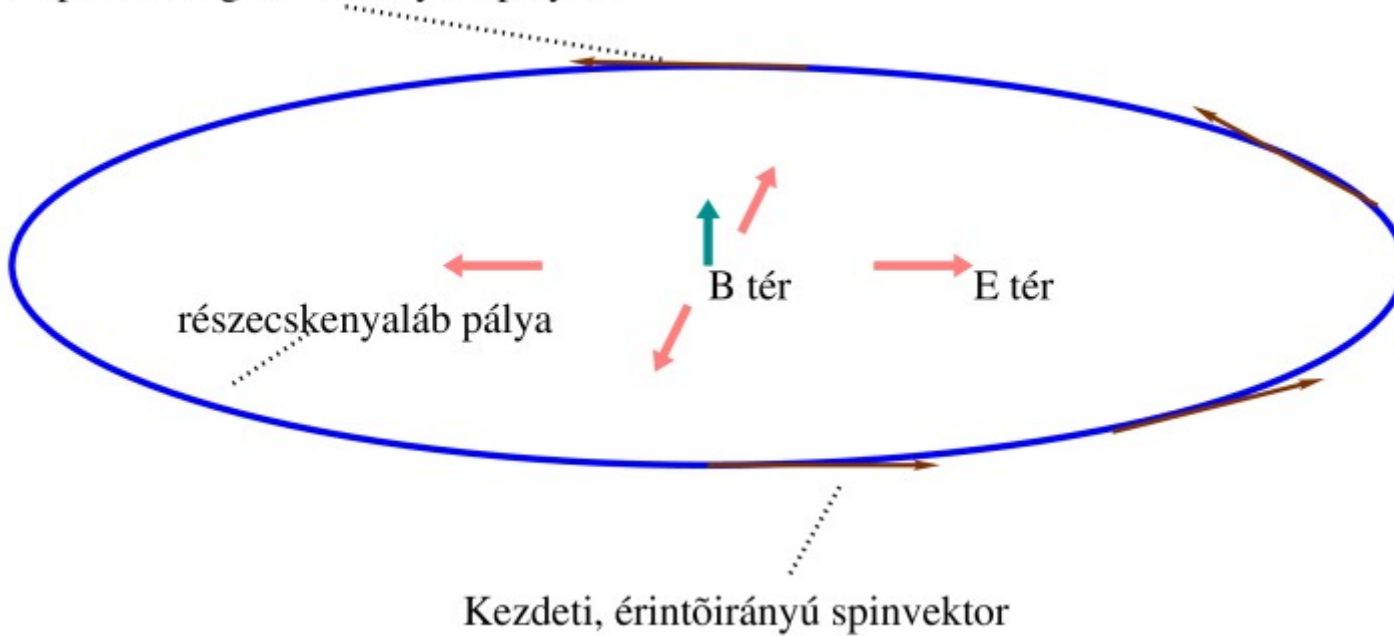
homogén mágneses térben a spin a pálya síkjában forog, ezzel a szögsebességgel: $(g/2-1) B \frac{q}{m}$



részecskefizikusokat ez a kísérlet nagyon érdekli, $g-2$ kísérlet (Fermilab)
mert ez a részecskék belső szerkezetéről ad infót.

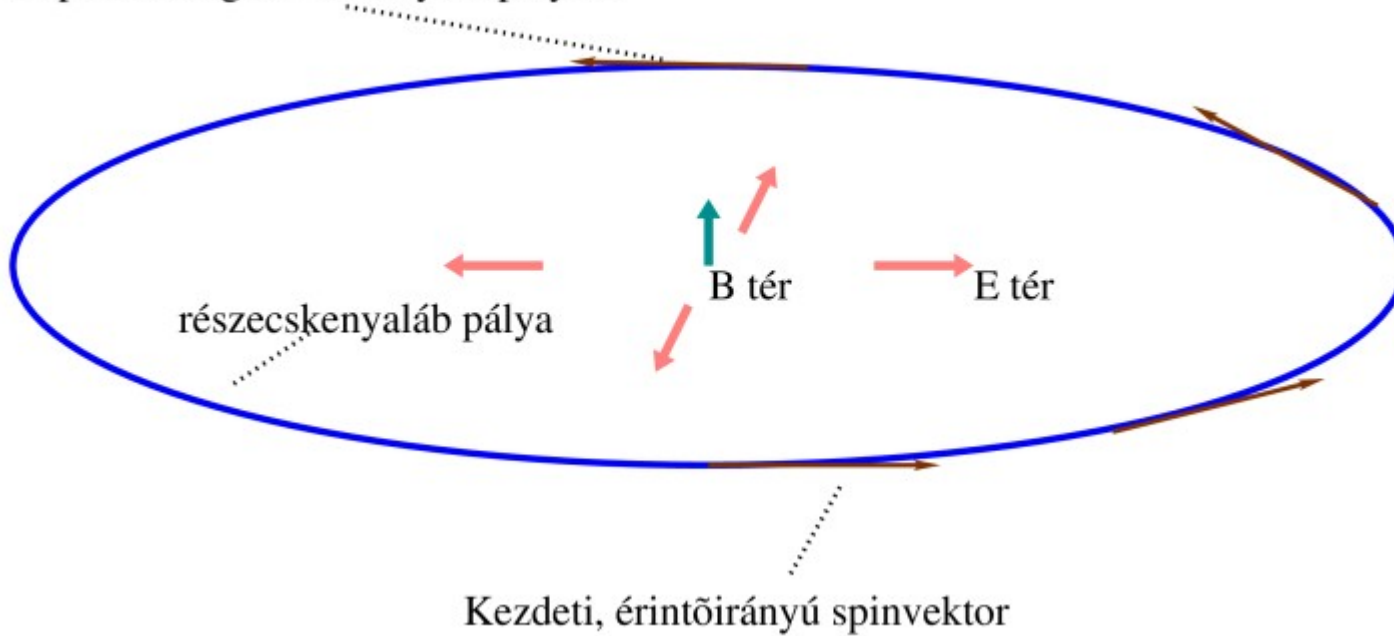
Hasonló trükkel lehet az elektromos megfelelőjét is mérni:

Befagyasztott spinû gyûrûben a mágn. precessziót elektromos térrel kompenzálják:
a spin mindig érintőirányú a pályára



- Ha lenne elektromos dipólnyomaték, az kiforgatná a spint a pálya síkjából.
részecskefizikusokat ez a kísérlet nagyon érdekli
(mert ez is a részecskék belső szerkezetéről ad infót)

Befagyasztott spinû gyûrûkben a mágn. precessziót elektromos térrel kompenzálják:
a spin mindig érintõirányú a pályára



Kiderül: van áltrekorrekció, a Föld gravitációs tere is kitekeri a spint a pálya síkjából!

(László, Zimborás 2018) Végülis $\frac{g}{c}$ szög / idő mértékegységű...

Kiderül: van áltrel korrekció, a Föld gravitációs tere is kitekeri a spint a pálya síkjából.

$$(g/2-1) \frac{v/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad \frac{g}{c}$$

Poén: ha nem áltrelben, hanem specrel + barkács gravitációval számolnánk,

$$(g/2) \frac{v/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad \frac{g}{c}$$

(azaz kb 2-es faktor hiányozna, mint a fényelhajlásnál)

Érdekes jelenség, relativisztikus sebességeknél laboratóriumi tesztje az áltrelnek.

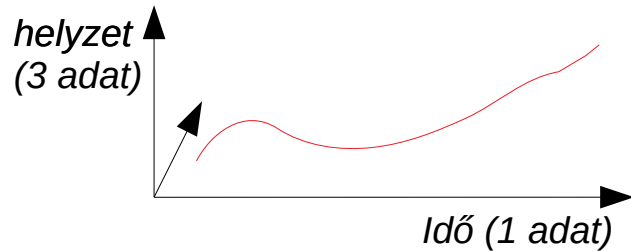
Már tervezik az EDM kísérleteket, ez is egy mellékeredménye lesz.

Olyan 2030 után kezd épülni vszleg. (CPEDM)

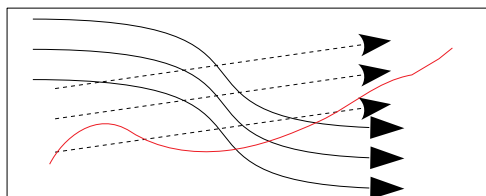
Tartalék fóliák

Fizikai modellezés:

- A fizika kísérleti tudomány: természetről kísérleti úton próbálunk meg infókat gyűjteni.
- Ezekben valami törvényszerűségeket próbálunk meglátni.
(pl Newton második „törvényszerűsége”)
- Pár törvényszerűségekől matematikai modellt próbálunk állítani.
- A modellek célja: jóslatokat adjanak újabb kísérletek eredményére.
Ezeket megnézzük, hogy ülnek-e.
- Ha nem: javított modellre hajtunk. Fontos: a modell nem maga a valóság.
fizika \neq matek. A fizikát nem lehet „levezetni”. Matematikai modellt lehet rá állítani.

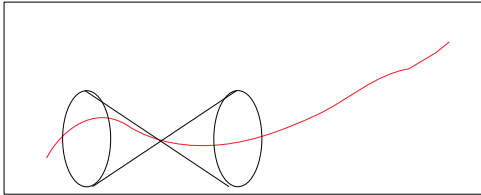


- A teret és időt szívünk joga együtt könyvelni, és „téridőnek” hívni.
- A fizikában előforduló mozgásegyenletek szerkezete arra utal, hogy ennél mélyebb a kapcsolat.
- A mozgásegyenletek szerkezete átláthatóbb lesz, ha következők szerint könyvelünk.



- Egy másik megfigyelő máshogy tapasztalja meg a vele érintkező dolgokat.
(Egy másik sodródó szenzortest.)
- Erre szokás mondani, hogy nincs abszolút tér.
Megfigyelő szerint megtapasztalt tér-élmény van.
- Inerciális megfigyelő: jóban van az eltolással.

- Relativisztikus téridő:



- Relativisztikus fizika: kb ugyanaz mint a klasszikus, kicsit mások a játékszabályok.
 - Megfigyelő stb nélkül is lehet gondolni rá:
 - kísérleti tapasztalatok szerint minden anyagi „dolgok” terjedését valami hullámegyenlet-szerűség kormányozza.
 - hullámegyenlet-szerűség matekjából => van hozzá egy fénykúp.
 - a tapasztalat szerint ez a fénykúp minden anyagi fajtára ugyanaz.
- A relativitáselmélet az anyag terjedésének tulajdonságairól szól...
- A megfigyelő, időszeletelés stb kicsit mellékszál.