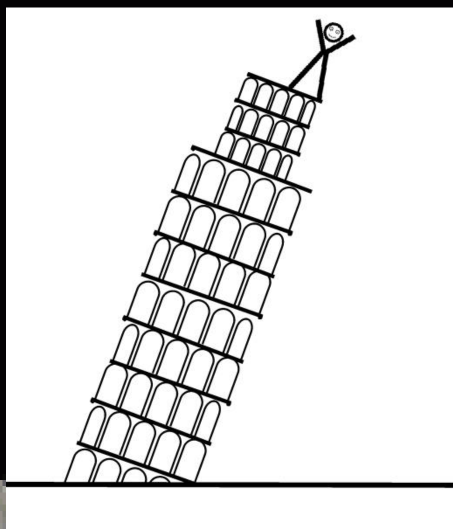
Geometria és gravitáció

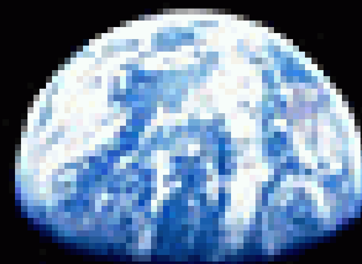
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2014. 09. 18.

Geometria és gravitáció





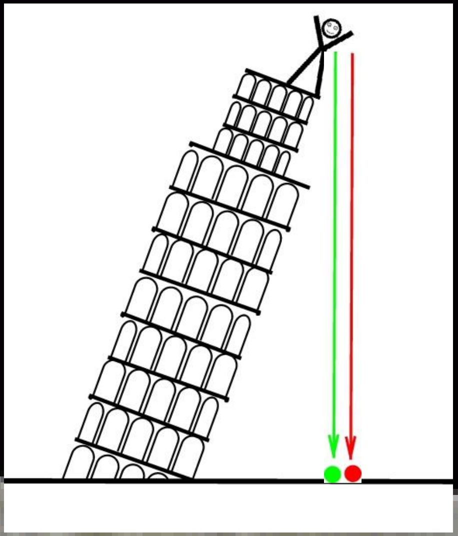
ELTE TTK
Fizikai Intézet

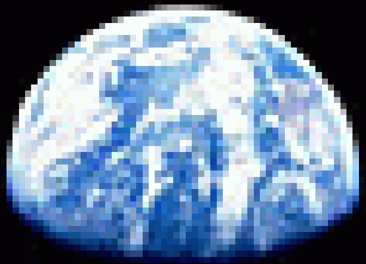
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2014. 09. 18.

Geometria és gravitáció





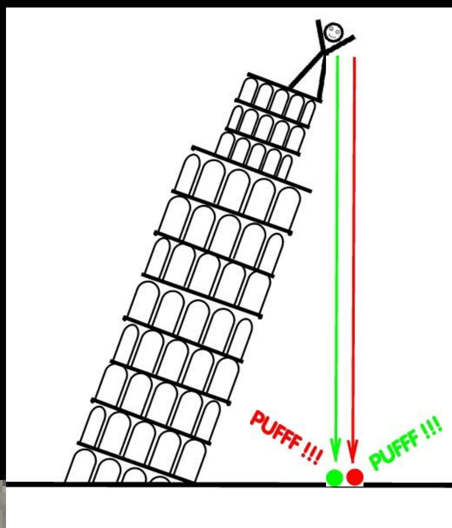
ELTE TTK Fizikai Intézet

Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2014. 09. 18.

Geometria és gravitáció



Az atomoktól a csillagokig

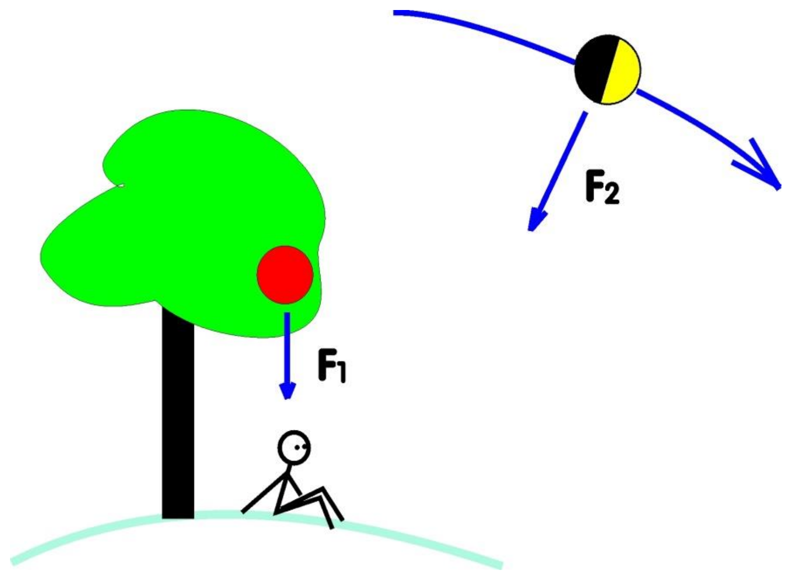
Dávid Gyula

2014. 09. 18.

GRAVITÁCIÓ

avagy
egyetemes tömegvonzás

- univerzális



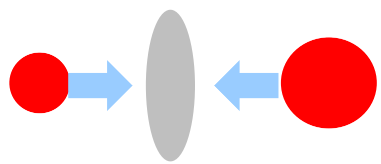
GRAVITÁCIÓ

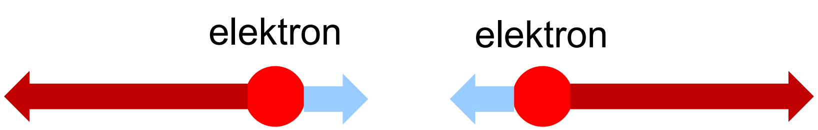
avagy
egyetemes tömegvonzás

- univerzális
    - passzív
    - aktív
- mindig vonzó
- távolható
- arányos a tömeggel
- árnyékolhatatlan
- nagyon gyenge

Isaac Newton
1687

Eötvös Loránd
inga: 1890-1919

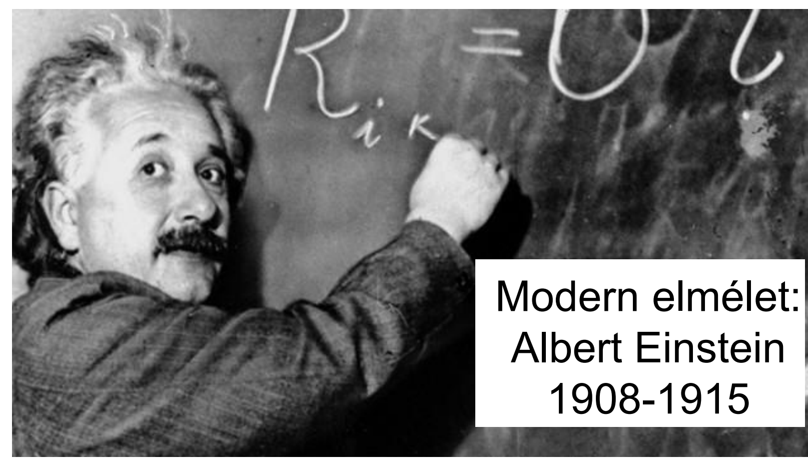




$F_{grav} = G\ m\ m\ /\ r^2$

$F_{elektromos} = k\ Q\ Q\ /\ r^2$

$F_{elektromos}\ /\ F_{grav} = \mathbf{10^{42}}$



Newtoni dinamika:

hogyan hatnak egymásra a testek?:

alaptörvény: $\mathbf{F = m_t\, a}$

Mit észlelünk? A gyorsulást!

$$a = (1/m_t)\, F$$

a vizsgált testre jellemző adat: **tehetetlen tömeg**

erő: a környezettel való kölcsönhatásra jellemző adat

pl. súrlódás, rugóerő stb

Van eset, amikor az erő is szorzatra bontható:

$$F = q\, E$$

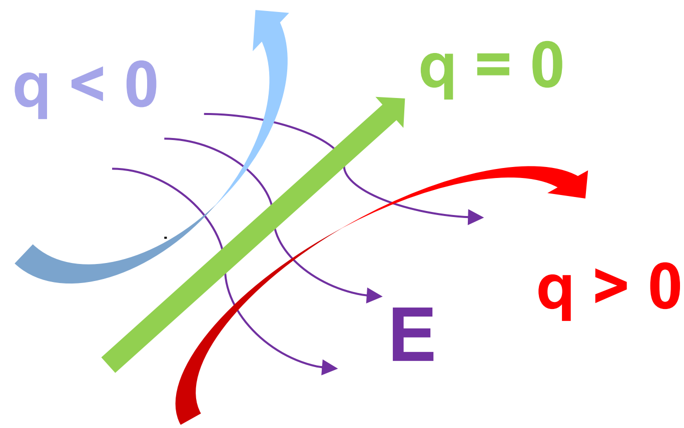
a vizsgált testre jellemző adat

csatolási állandó

a környezetben jelenlévő **erőtér (mező)** erőssége

$$a = (q\, /m_t)\, E$$

Pl.: töltött részecskék elektromos mezőben



Mozgás gravitációs mezőben:

a gravitációs erő is szorzatra bontható:

$$\mathbf{F} = m_s\, g$$

a vizsgált testre jellemző adat

súlyos tömeg

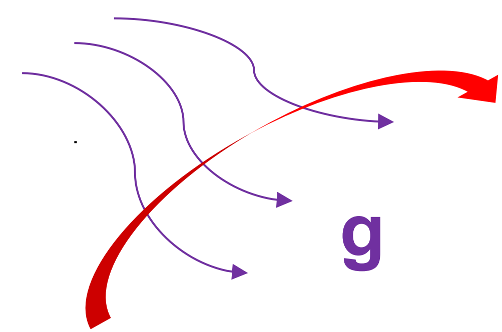
a környezetben jelenlévő **gravitációs erőtér (mező)** erőssége

$$\mathbf{a} = (1/m_t)\, \mathbf{F}$$

a vizsgált testre jellemző adat: **tehetetlen tömeg**

erő: a környezettel való kölcsönhatásra jellemző adat

$$\boxed{\mathbf{a} = (m_s / m_t)\, \mathbf{g}}$$



tapasztalat (Newton, Bessel, Eötvös egyre pontosabban megmérték):

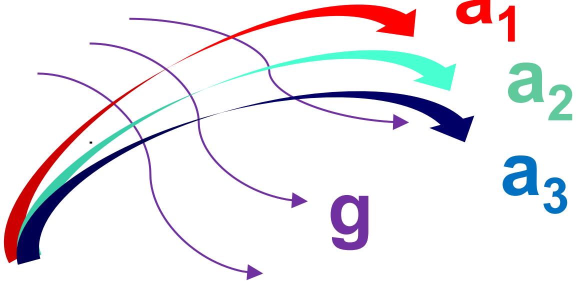
$$\boxed{m_s = m_t > 0} \longrightarrow \boxed{\mathbf{a} = \mathbf{g}}$$

minden testre, minden anyagra!

Mi lenne, ha nem lenne igaz a súlyos és tehetetlen tömeg egyenlősége?

$$a = (m_s / m_t)\, g$$

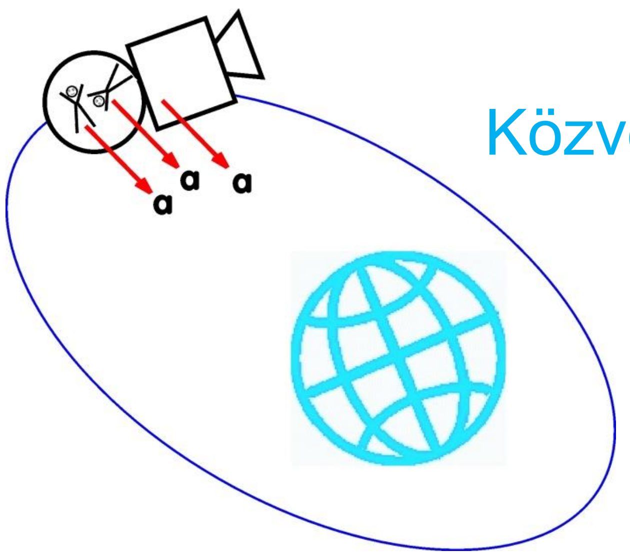
$$m_s \neq m_t > 0$$



$$a \neq g$$

Ha az m_s / m_t arány anyagfajtától függően változna?

A különböző anyagú testek másképp gyorsulnának



Közvetlen tapasztalat:

„súlytalanság” az űrhajókban:

gravitációs együttzuhanás:

szabadesés egyforma gyorsulással:

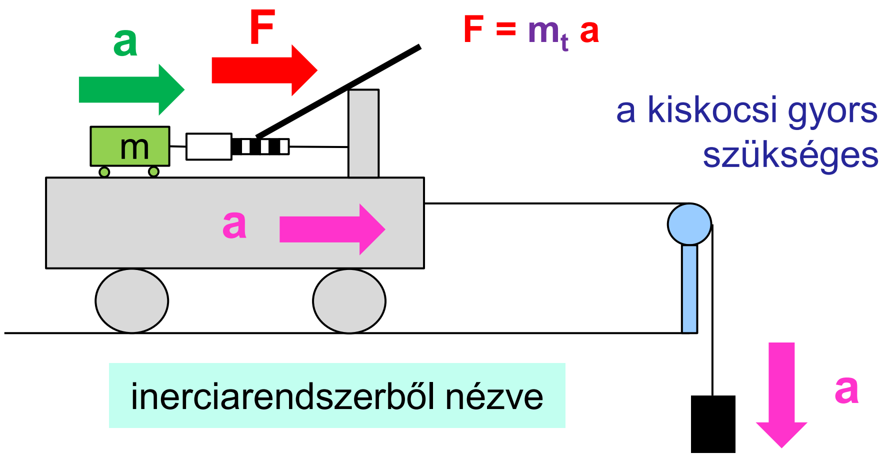
$$a = g$$

Eötvös tulajdonképpen ugyanezt mérte ki – űrhajó híján – földi körülmények között!

Van-e olyan **„erő”**, ami a tehetetlen tömeggel arányos?

Igen, ilyenek a **„tehetetlenségi erők”**, avagy **inerciaerők**

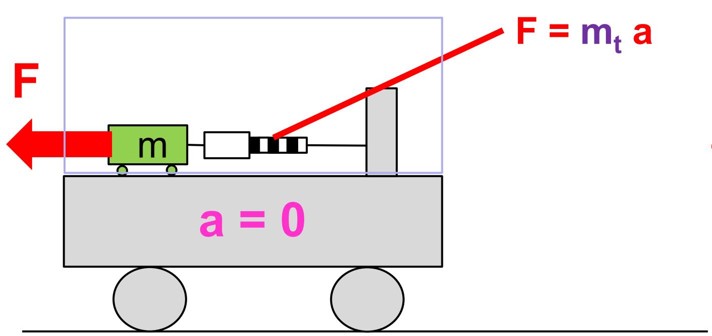
Emlékeztető: a múlt heti kiskocsis kísérlet:



a kiskocsi gyorsításához szükséges erő

inerciarendszerből nézve

Ezt az erőt a nagy kocsi fejti ki, ellenereje a nagy kocsira hat



a kiskocsira ható **tehetetlenségi erő**

a gyorsuló rendszerből nézve

Ennek az erőnek sehol sem találjuk a forrását, sem az ellenerejét

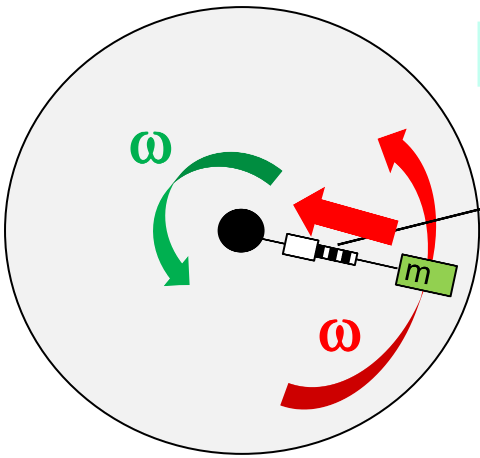
A tehetetlenségi erő FIKTÍV ERŐ

Van-e olyan **„erő”**, ami a tehetetlen tömeggel arányos?

Igen, ilyenek a **„tehetetlenségi erők”**, avagy **inerciaerők**

Emlékeztető: a múlt heti forgó korongos kísérlet:

inerciarendszerből nézve

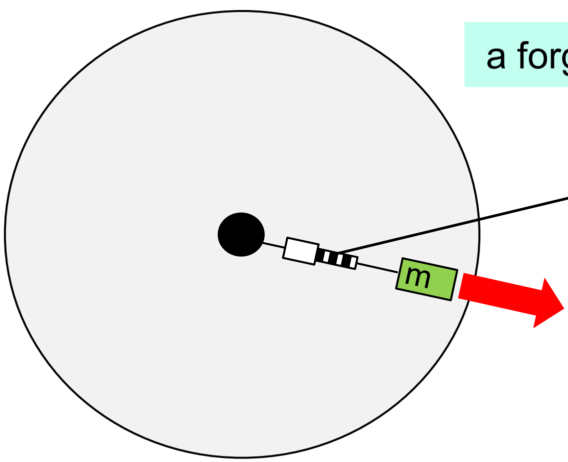


$\mathbf{F = m_t\,R\omega^2}$

a testi körpályán mozgatásához szükséges **centripetális erő**

Ezt az erőt a forgó korong tengelye fejti ki, ellenereje a tengelyre hat

a forgó rendszerből nézve



$\mathbf{F = m_t\,R\omega^2}$

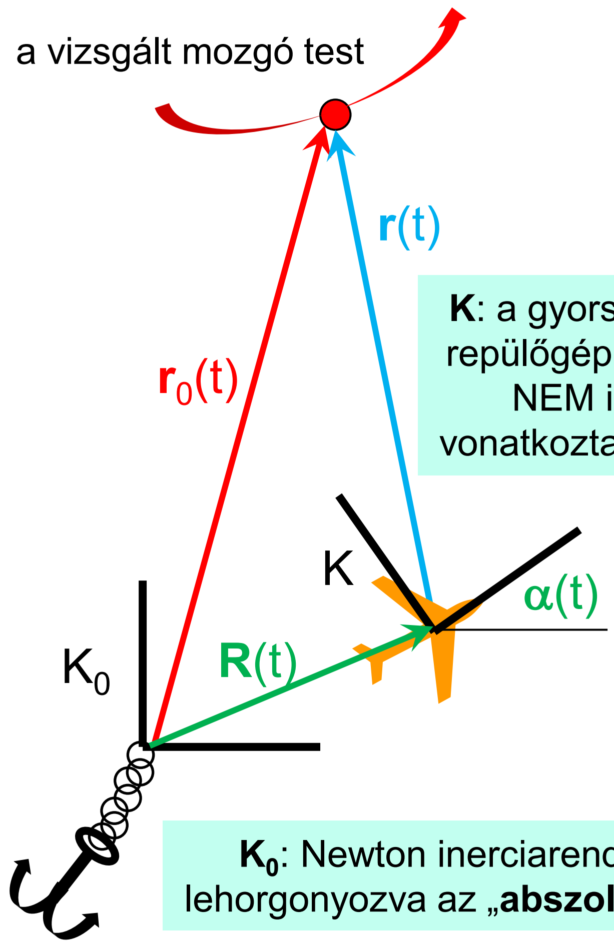
a testet kifelé húzó **centrifugális erő**

Ennek az erőnek sehol sem találjuk a forrását, sem az ellenerejét

A centrifugális erő FIKTÍV ERŐ

Általános gyorsuló rendszer

A test mozgását a K_0 és a K rendszerben leíró vektorok közti összefüggések:



helyvektorok: $\mathbf{r}_0(t) = \mathbf{r}(t) + \mathbf{R}(t)$

sebességvektorok: $\mathbf{v}_0(t) = \mathbf{v}(t) + \mathbf{V}(t) + \omega(t) \times \mathbf{r}(t)$

gyorsulásvektorok:

$$\mathbf{a}_0(t) = \mathbf{a}(t) + \mathbf{A}(t) + \omega(t) \times [\omega(t) \times \mathbf{r}(t)] + 2\,\omega(t) \times \mathbf{v}(t) + \beta(t) \times \mathbf{r}(t)$$

ahol:

$\mathbf{R}(t)$ a repülőgép helyvektora

$\mathbf{V}(t)$ a repülőgép sebessége

$\mathbf{A}(t)$ a repülőgép gyorsulása

$\omega(t)$ a repülőgép szögsebessége

$\beta(t)$ a repülőgép szöggyorsulása

Ebben az inerciarendszerben érvényes a Newton-törvény: $\mathbf{F}_0 = m_t\, \mathbf{a}_0$

Eddig ez TISZTA GEOMETRIA volt! Sem erők, sem tömegek nem szerepeltek…

Megkaptuk a K_0 inerciarendszerhez képesti $\mathbf{a}_0(t)$ gyorsulást:

$$F_0 / m_t = \mathbf{a}_0(t) = \mathbf{a}(t) + \mathbf{A}(t) + \omega(t) \times [\omega(t) \times \mathbf{r}(t)] + 2\,\omega(t) \times \mathbf{v}(t) + \beta(t) \times \mathbf{r}(t)$$

Fejezzük ki a repülőgép K gyorsuló rendszeréhez képesti $\mathbf{a}(t)$ gyorsulást:

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 - \mathbf{A} - \omega \times [\omega \times \mathbf{r}] - 2\,\omega \times \mathbf{v} - \beta \times \mathbf{r} =$$
$$= \mathbf{F}_0 / m_t - \mathbf{A} - \omega \times [\omega \times \mathbf{r}] - 2\,\omega \times \mathbf{v} - \beta \times \mathbf{r}$$

Kritikus lépés: **szorozzuk be** az egyenletet a mozgó test m_t tehetetlen tömegével:

$$m_t\,\mathbf{a} = \mathbf{F}_0 - m_t\,\mathbf{A} - m_t\,\omega \times [\omega \times \mathbf{r}] - 2\,m_t\,\omega \times \mathbf{v} - m_t\,\beta \times \mathbf{r}$$

Ez a **dinamika alaptörvénye** (Newton II. törvénye) a repülőgép rendszerében:

A környezetből származó $\mathbf{F}_0$ erő mellett négy extra (fiktív) **tehetetlenségi erő** is hat a testre!

Mindegyik **tehetetlenségi erő** az m_t **tehetetlen tömeggel** arányos!

(**TUDOM**, hiszen épp most szoroztam be vele a képletet…)

$$m_t\, a = F_0 - m_t\, A - m_t\, \omega \times [\omega \times r] - 2\, m_t\, \omega \times v \; - m_t\, \beta \times r$$

a vizsgált test gyorsulása a repülőgéphez képest

a környezetből származó erő

F_0

transzlációs tehetetlenségi erő (kiskocsi…)

F_t

centrifugális erő (körhinta…)

F_{cf}

Coriolis erő

F_C

szöggyorsulásból származó erő

F_β

lásd: Tél Tamás: Vízáramlás és örvények az Egyenlítő két oldalán – a Föld forgásának hatása kicsiben és nagyban, Atomcsill, 2013. március 7.

$$m_t\, a = F_0 + \underbrace{F_t + F_{cf} + F_C + F_\beta}_{\text{tehetetlenségi erők}}$$

$$m_t\, a = F_0 - m_t\, A - m_t\, \omega \times [\omega \times r] - 2\, m_t\, \omega \times v - m_t\, \beta \times r$$

Milyen adatoktól FÜGGENEK, és milyenektől NEM FÜGGENEK a tehetetlenségi erők?

Mitől függhetnének?

SZIMMETRIÁK

t_0	az időeltolódás mértéke	az időnek nincs kitüntetett kezdőpontja
$\mathbf{R}(t)$	a repülőgép helyvektora	a térben nincs kitüntetett középpont
$\alpha(t)$	a repülőgép elfordulása	a térben nincs kitüntetett irány
$\mathbf{V}(t)$	a repülőgép sebessége	Galilei-invariancia
$\mathbf{A}(t)$	a repülőgép gyorsulása	
$\omega(t)$	a repülőgép szögsebessége	
$\beta(t)$	a repülőgép szöggyorsulása	

Ha ezek az adatok nem mind nullák, akkor fellépnek a tehetetlenségi erők!

Ha csak ezek az adatok különböznek, akkor a repülőgép is inerciarendszer!

No de akkor melyik az **IGAZI** inerciarendszer??? K_0 vagy a másik?

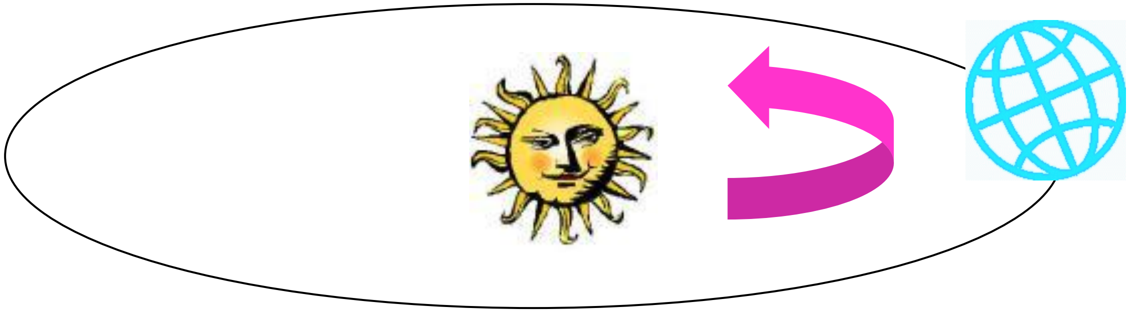
NINCS "IGAZI" inerciarendszer, nincs „abszolút tér" – minden inerciarendszer egyenértékű!

Galilei-féle relativitási elv, Einstein féle speciális relativitáselmélet

Fizikus tanmese
következik…

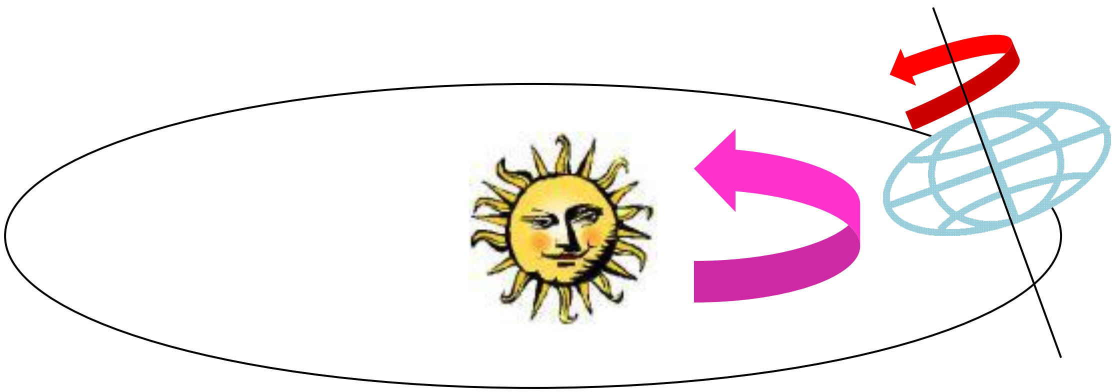
A long time ago,
in a galaxy far, far away…

Fizikus tanmese
következik…



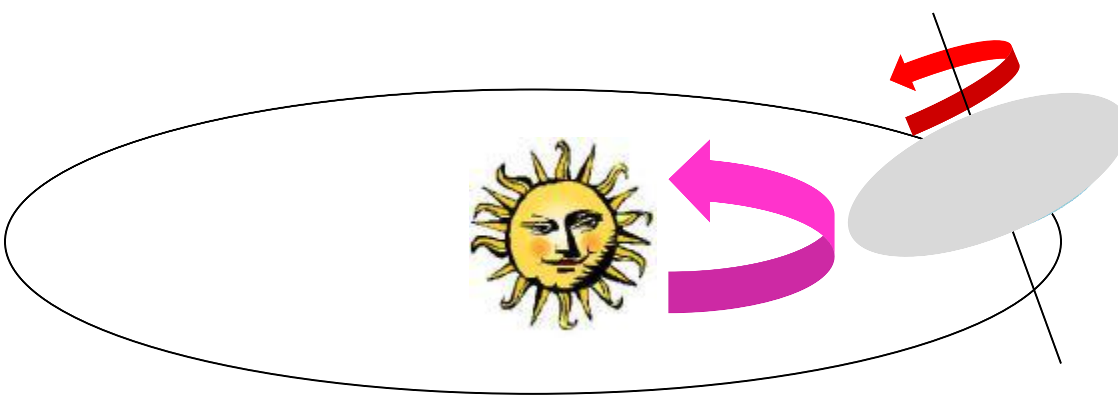
Egyszer régen, egy távoli galaxisban…

…volt egyszer egy bolygó, ami nagyon gyorsan keringett a csillagja körül…



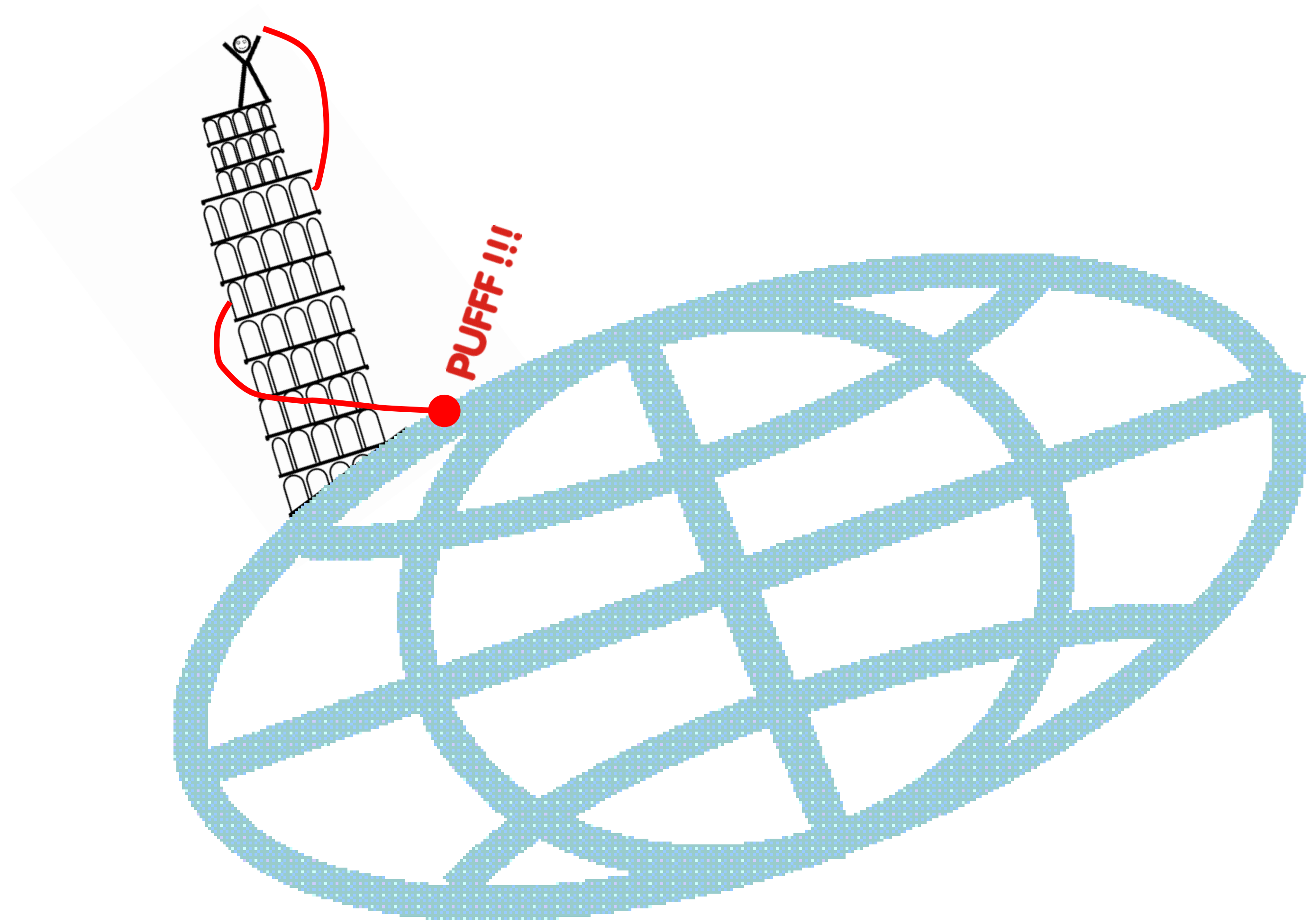
…sőt, a saját tengelye körül is nagyon gyorsan forgott…

…ráadásul az egész bolygót fellegek borították, így lakói tudomást sem szereztek a csillagok létezéséről …

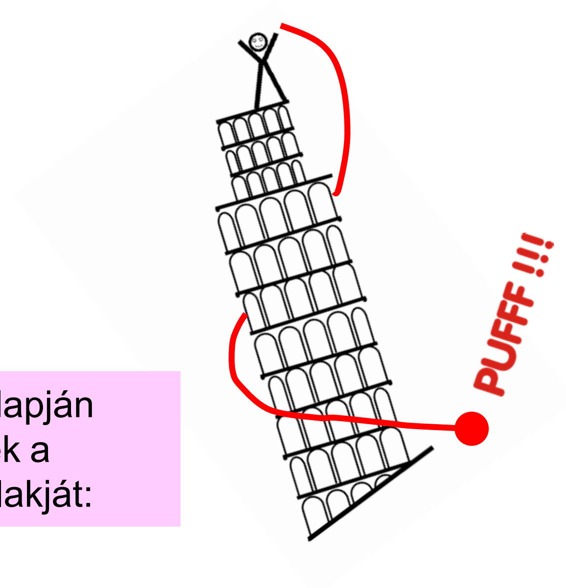


…valamint a saját bolygójuk mozgásáról…

…ezért a fizikusok csak köveket hajigáltak a tornyokból…


PUFFF !!!

$$m_t\, a = F_0 - m_t\, A - m_t\, \omega \times [\omega \times r] - 2\, m_t\, \omega \times v - m_t\, \beta \times r$$



MI TUDJUK, hogy azért mozognak a kövek ilyen bonyolult módon, mert a gyorsuló rendszerben ilyen bonyolult a mozgástörvény.

MI TUDJUK, hogy a képletben az **A**, ω és β mennyiségek a bolygó gyorsulását, forgásának szögsebességét és szöggyorsulását jelentik.

ŐK sok kísérlet alapján kikövetkeztették a mozgástörvény alakját:

MI TUDJUK, hogy a képlet minden tagjában **UGYANAZ** az m_t tehetetlen tömeg szerepel, hiszen mi szoroztunk be vele egy geometriai képletet.

Az Ő képletükben az **A, B, C, D** és **E** vektorok mérési eredményként kapott **„világállandók”. .**

Az Ő számukra a képlet minden tagjában a testnek egy-egy **független**, méréssel meghatározható, tömeg-jellegű paramétere szerepel.

Oldton törvénye:

$$m_t\, a = F_0 - m_1\, A + m_2\, B \times [C \times r] + 2\, m_3\, D \times v + m_4\, E \times r$$

Oldton törvénye:

$$m_t\, a = F_0 - m_1\, A + m_2\, B \times [C \times r] + m_3\, D \times v + m_4\, E \times r$$

Megindulnak → a viták:

- vajon mi az öt világállandó fizikai jelentése?
- függetlenek-e egymástól?
- változhatnak-e időben?
- vajon a világ más részén is ennyi az értékük?
- mi a négy tömegparaméter jelentése, és van-e közük egymáshoz?

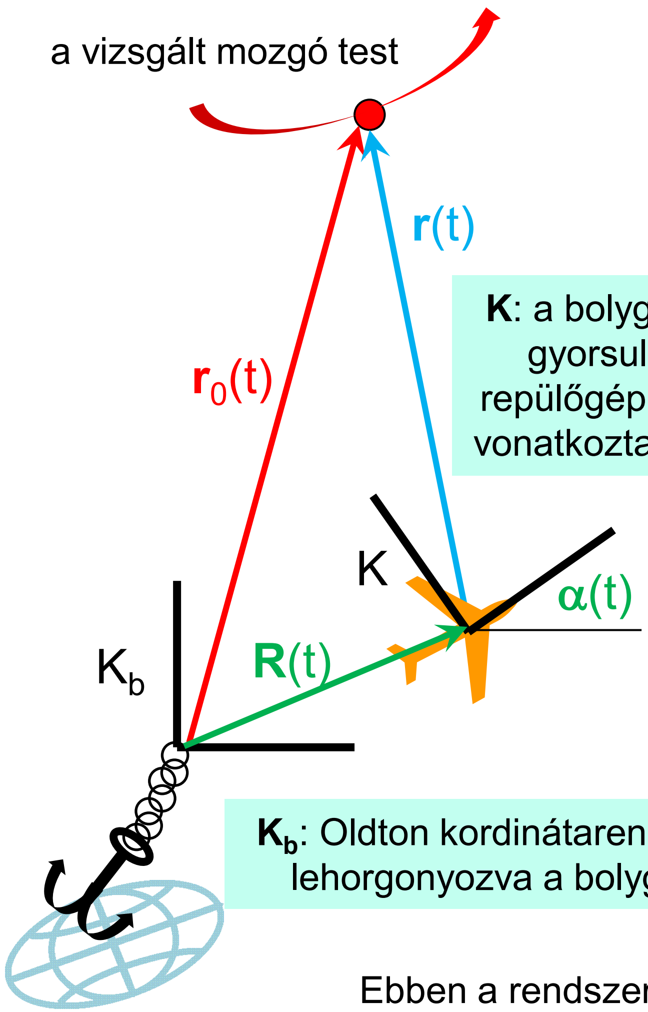
a mérések:

- kimérik, hogy B, C, és D értékének köze van egymáshoz
- kimérik, hogy a világállandók lassan változnak
- Hatvös Loránd sok tizedes pontossággal kiméri, hogy **a négy tömegparaméter egyenlő egymással és a tehetetlen tömeggel**
- valamint azt, hogy ez az összefüggés **minden anyagfajtára** fennáll

…és akkor a bolygó lakói feltalálják a repülőgépet!

A test mozgását a K_0 és a K rendszerben leíró vektorok közti összefüggések:

helyvektorok: $\mathbf{r}_0(t) = \mathbf{r}(t) + \mathbf{R}(t)$



K: a bolygóhoz képest gyorsuló és forgó repülőgéphez rögzített vonatkoztatási rendszer

…itt most sok-sok számolás következik, melytől megkíméljük a hallgatóságot. Az érdeklődők házi feladatként elvégezhetik a számításokat

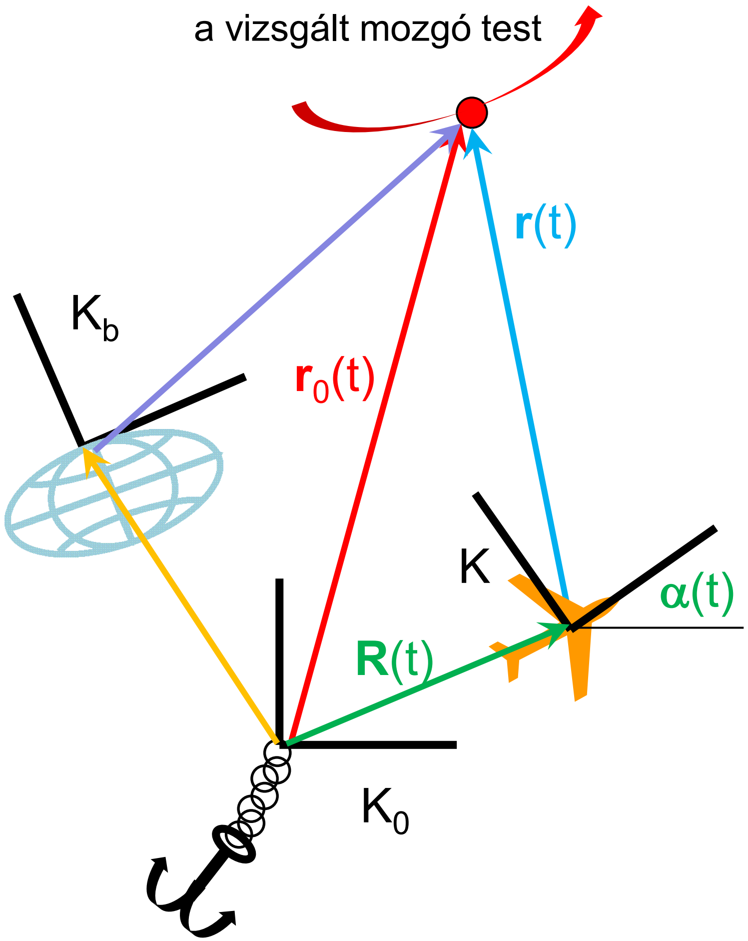
Eredmény: a K rendszerben érvényes mozgástörvény:

$$m_t\, \mathbf{a} = \mathbf{F_0} - m_1\, \mathbf{A'} + m_2\, \mathbf{B'} \times [\mathbf{C'} \times \mathbf{r}] + m_3\, \mathbf{D'} \times \mathbf{v} + m_4\, \mathbf{E'} \times \mathbf{r}$$

$\mathbf{K_b}$: Oldton kordinátarendszere, lehorgonyozva a bolygóhoz

Ebben a rendszerben érvényes az Oldton-törvény:

$$m_t\, \mathbf{a_b} = \mathbf{F_0} - m_1\, \mathbf{A} + m_2\, \mathbf{B} \times [\mathbf{C} \times \mathbf{r}] + m_3\, \mathbf{D} \times \mathbf{v} + m_4\, \mathbf{E} \times \mathbf{r}$$



MI ÉRTJÜK:
a newtoni K_0 inerciarendszerhez képest
a bolygó K_b rendszere és a repülőgép K rendszere
egyaránt gyorsuló rendszer,
ezért hasonló alakú a mozgástörvény.

$$m_t \, \mathbf{a}_0 = \mathbf{F}_0 - m_1 \, \mathbf{A} + m_2 \, \mathbf{B} \times [\mathbf{C} \times \mathbf{r}] + m_3 \, \mathbf{D} \times \mathbf{v} + m_4 \, \mathbf{E} \times \mathbf{r}$$

ŐK csodálkoznak:
repülőre szállva megváltoztak a „világállandók”

$$m_t \, \mathbf{a} = \mathbf{F}_0 - m_1 \, \mathbf{A'} + m_2 \, \mathbf{B'} \times [\mathbf{C'} \times \mathbf{r}] + m_3 \, \mathbf{D'} \times \mathbf{v} + m_4 \, \mathbf{E'} \times \mathbf{r}$$

Léteznek (bonyolult) képletek, amelyekkel
A, B, C, D, E ismeretében
ki lehet számítani A', B', C', D' és E' értékét.

(A, B, C, D, E) → (A', B', C', D', E')

…és akkor valakinek eszébe jut, nem lehetne-e TELJESEN eltüntetni a „világállandókat”

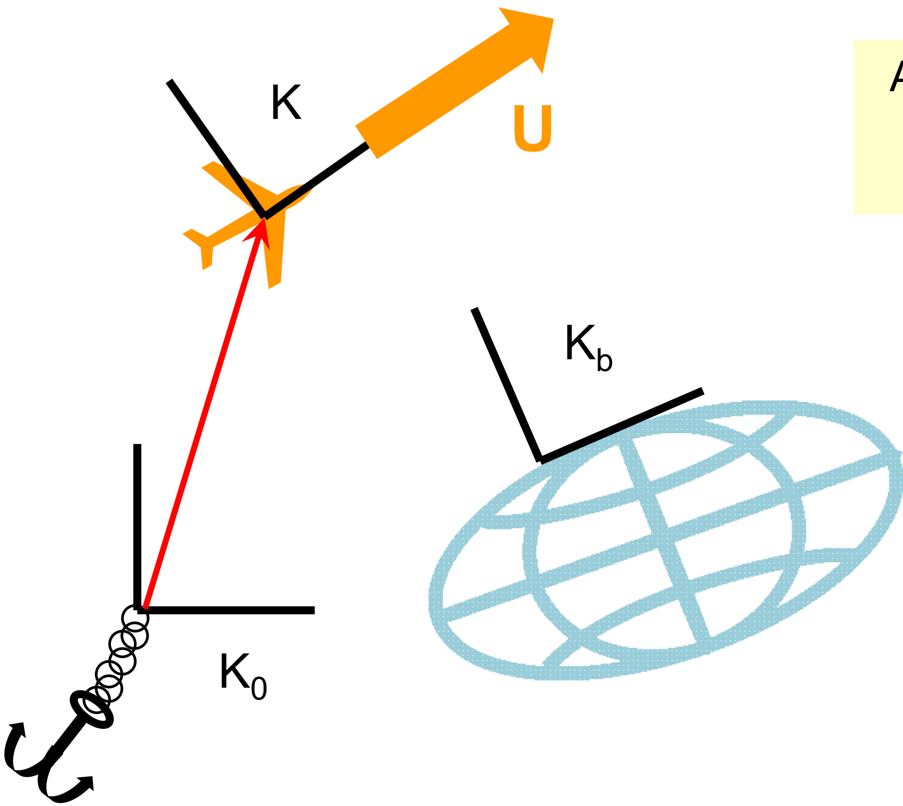
(A, B, C, D, E) $\rightarrow$ (0, 0, 0, 0, 0)

ŐK azt mondják: varázslat

MI azt mondjuk: kitranszformálták a bolygó gyorsulásának és forgásának hatását,

és megtalálták (egy) inerciarendszert!

A repülőgép (a bolygóhoz képest gyorsul és forog, de a mi newtoni rendszerünkhöz képest állandó **U** sebességgel mozog.



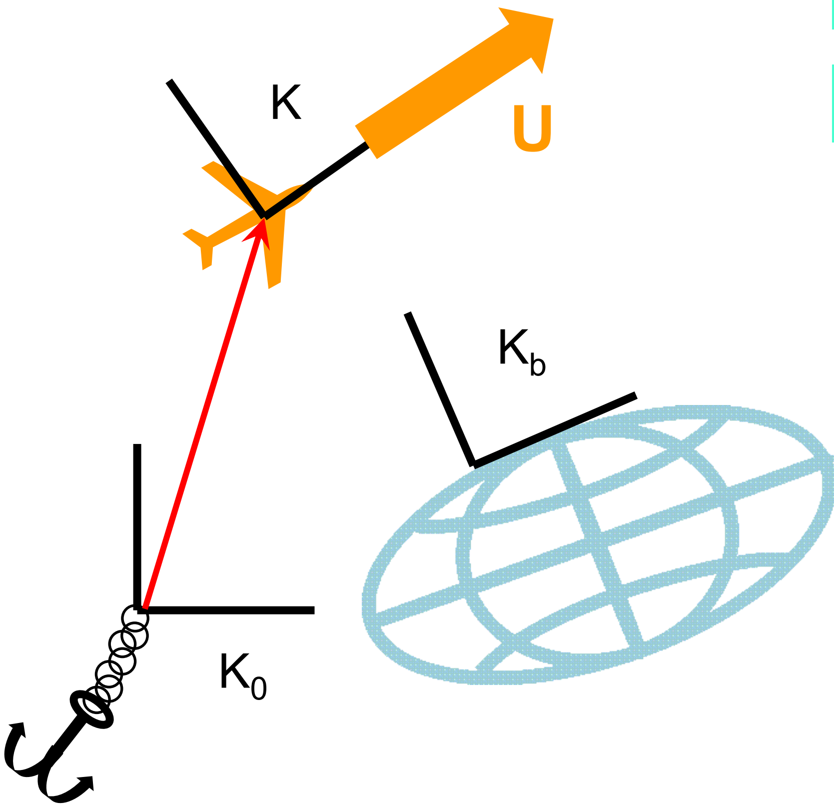
Így a repülőgép fedélzete is inerciarendszer, ott is a legegyszerűbb alakú Newton-törvény érvényes:

$$\mathbf{F}_0 = m_t\, \mathbf{a}_0$$

…és akkor valakinek eszébe jut, nem lehetne-e TELJESEN eltüntetni a „világállandókat”

(A, B, C, D, E) → (0, 0, 0, 0, 0)

Mi ennek a „varázslatnak” a feltétele?



Az, hogy az Oldton-törvény minden tagjában UGYANAZ az m_t tömegállandó szerepeljen, ami azonos a tehetetlen tömeggel,

és ez anyagfajtától függetlenül teljesüljön!

Másképp a repülőgép vas-, fa- és üveg alkatrészeit csak más-más mozgással lehetne „világállandó-mentesíteni”!

Ha a tömegállandók azonosak, egyszerű **geometriai transzformációval** (ügyesen megválasztott mozgással) meg lehet szabadulni a tehetetlenségi erőktől!

$$\mathbf{F}_0 = m_t\,\mathbf{a}_0$$

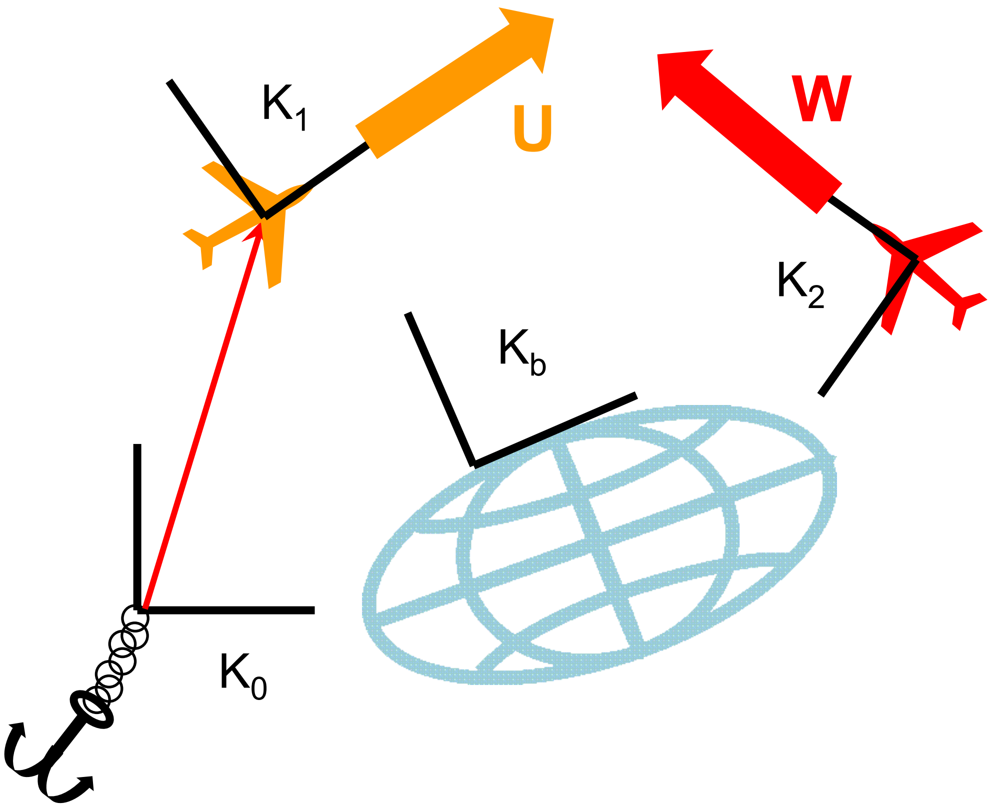
…és akkor valakinek eszébe jut, nem lehetne-e TELJESEN eltüntetni a „világállandókat”

(A, B, C, D, E) → (0, 0, 0, 0, 0)

A bolygó másik oldalán egy másik pilótának is eszébe jut ugyanez: ő is kiküszöböli a „világállandókat”.

A newtoni K_0 rendszerhez képest ez a repülőgép is állandó **W** sebességgel mozog.

Felejtsük most el a bolygót, ezt a csúf gyorsuló rendszert! (jönnek a vogonok…)

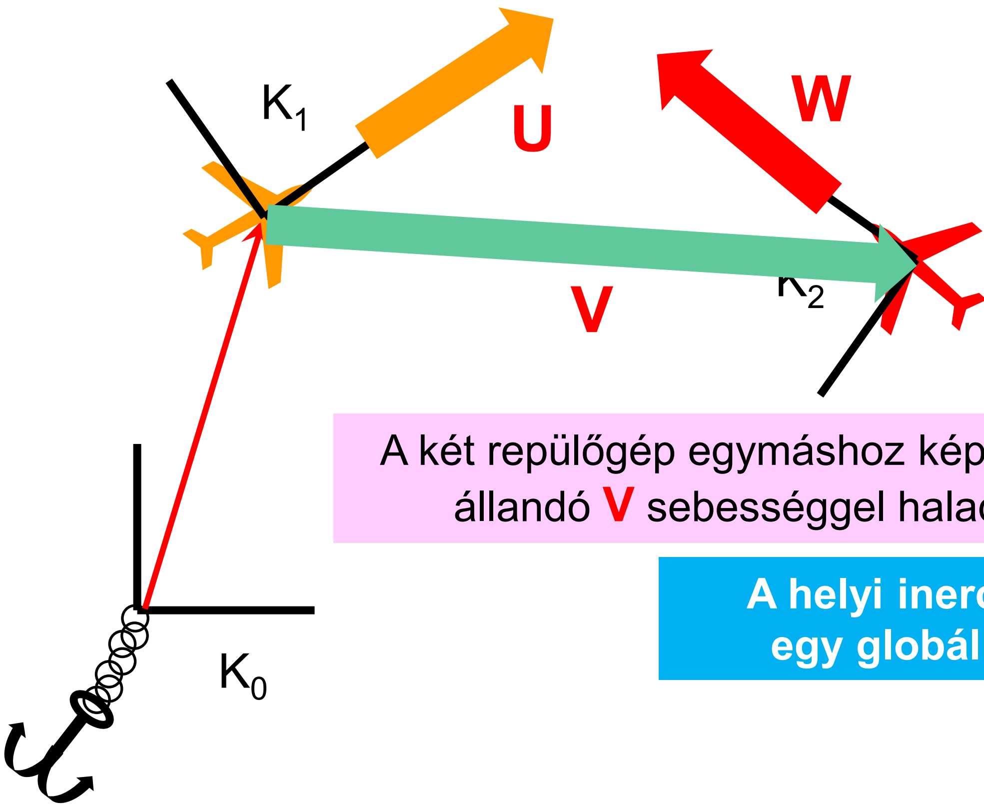


$$\mathbf{F}_0 = m_t\, \mathbf{a}_0$$

…és akkor valakinek eszébe jut, nem lehetne-e TELJESEN eltüntetni a „világállandókat”

(A, B, C, D, E) → (0, 0, 0, 0, 0)

A bolygó másik oldalán egy másik pilótának is eszébe jut ugyanez: ő is kiküszöböli a „világállandókat”.



A newtoni K_0 rendszerhez képest ez a repülőgép is állandó **W** sebességgel mozog.

Felejtsük most el a bolygót, ezt a csúf gyorsuló rendszert! (jönnek a vogonok…)

A két repülőgép egymáshoz képest is állandó **V** sebességgel halad!

A helyi inerciarendszerek összeilleszthetők egy globális, koherens inerciarendszerré

$$\mathbf{F}_0 = m_t\, \mathbf{a}_0$$

HAPPY END!

HAPPY END!

Vagy ez még nem az utolsó lépés?

Vegyük szemügyre alaposabban az Oldton-törvény $\mathbf{F}_0$ tagját!

$$m_t \mathbf{a}_b = \mathbf{F}_0 - m_1 \mathbf{A} + m_2 \mathbf{B} \times [\mathbf{C} \times \mathbf{r}] + m_3 \mathbf{D} \times \mathbf{v} + m_4 \mathbf{E} \times \mathbf{r}$$

Vegyük szemügyre alaposabban az Oldton-törvény $\mathbf{F}_0$ tagját!

$$m_t \, \mathbf{a}_b = \mathbf{F}_0 - m_1 \, \mathbf{A} + m_2 \, \mathbf{B} \times [\mathbf{C} \times \mathbf{r}] + m_3 \, \mathbf{D} \times \mathbf{v} + m_4 \, \mathbf{E} \times \mathbf{r}$$

$$\mathbf{F}_0 = \mathbf{F}_{\text{súrlódási}} + \mathbf{F}_{\text{elektromos}} + \mathbf{F}_{\text{mágneses}} + \mathbf{F}_{\text{rugó}} + \mathbf{F}_{\text{gravitációs}} + \ldots$$

Hoppá! Hiszen

$$\mathbf{F}_{\text{gravitációs}} = m_s \, \mathbf{g}$$

És Eötvös Lorándtól tudjuk, hogy $m_s = m_t$, minden anyagra!

Vegyük szemügyre alaposabban az Oldton-törvény F_0 tagját!

$$m_t\, a = F_0 - m_1\, A + m_2\, B \times [C \times r] + m_3\, D \times v + m_4\, E \times r$$

Válasszuk le F_0 –ból a gravitációs erőt!

$$m_t\, a = F - m_s\, g - m_1\, A + m_2\, B \times [C \times r] + m_3\, D \times v + m_4\, E \times r$$

Az összes tömeg azonos, minden anyag esetén:

$$m\, a = F - m\, g - m\, A - m\, \omega \times [\omega \times r] - 2\, m\, \omega \times v - m\, \beta\omega \times r$$

Egyetlen geometriai lépéssel: ügyes mozgással kiküszöbölhető
az összes tehetetlenségi erő ÉS a gravitáció is:

Létezik olyan koordinátarendszer, amelyben
a mozgástörvényben már a gravitáció sem szerepel!

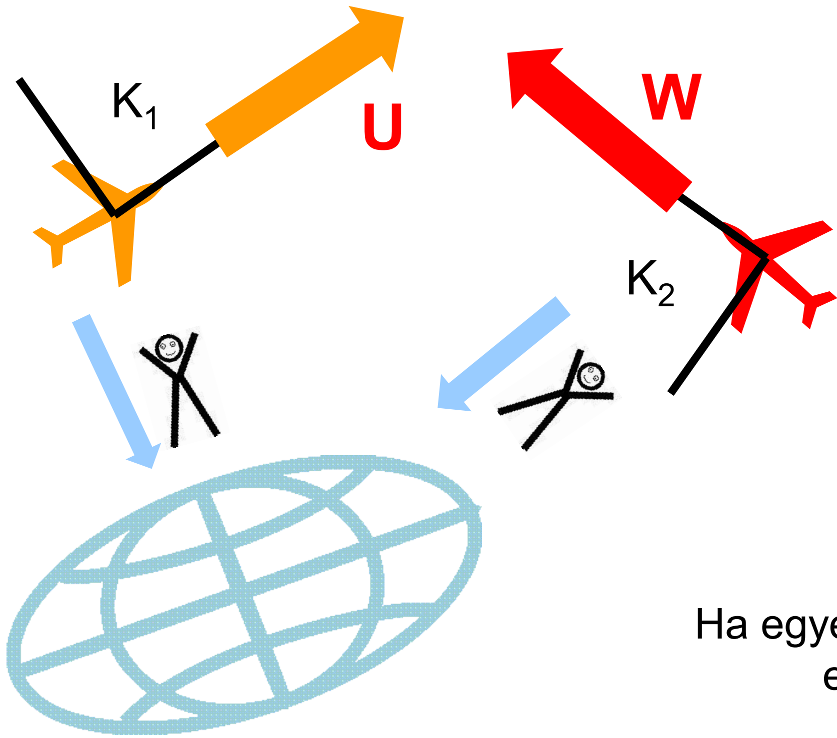
$$m\, a = F$$

A gravitáció ugyanúgy viselkedik,
ezért ugyanúgy kezelhető és kiküszöbölhető, mint a tehetetlenségi erők,

MERT Eötvös Lorándtól tudjuk, hogy $m_s = m_t$, minden anyagra!

Mit tegyenek a pilóták?

Ugorjanak ki a gépből (ejtőernyő nélkül)!



A szabadon eső rendszerben a mozgásegyenlet:

$$m\, a = 0$$

Szabadesés közben
nem érezzük a súlyunkat:
a szabadon eső koordinátarendszerben
az m_s g súlyt, azaz
„tehetetlenségi erőt” is kiküszöböltük.

A gravitáció ugyanúgy viselkedik,
ezért ugyanúgy kezelhető
és ugyanúgy kiküszöbölhető,
mint a tehetetlenségi erők,

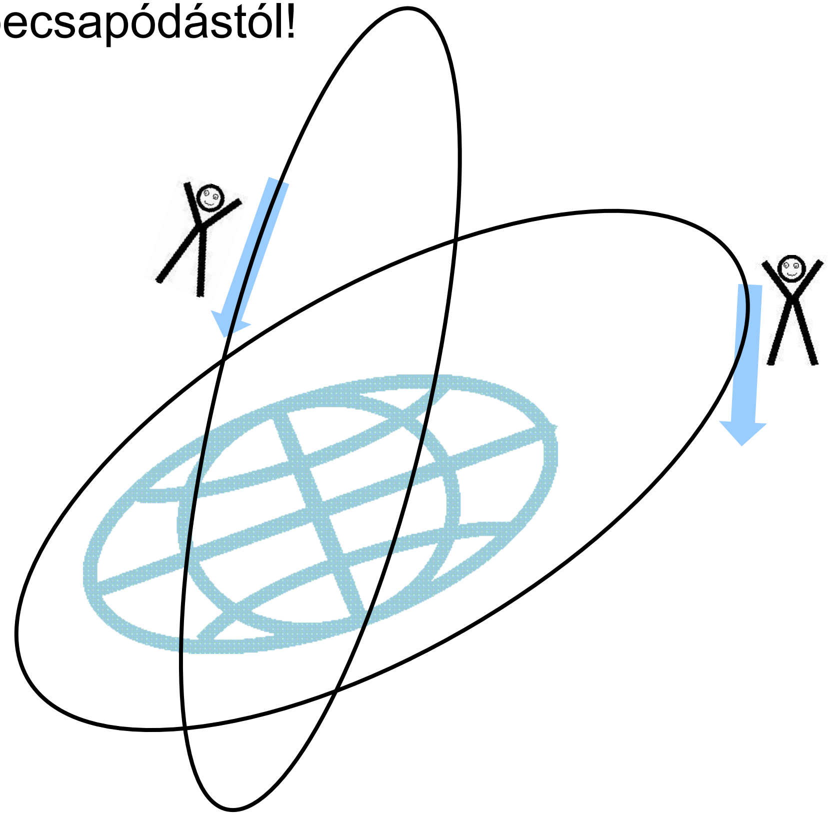
Ez az ekvivalencia-elv,
az általános relativitáselmélet
kiindulópontja.

Ha egyéb (elektromos, mágneses, súrlódási stb.)
erők nem hatnak, csak a gravitáció,
akkor ezzel a „rendszerváltással”
MINDEN erő kiküszöbölhető!.

akárcsak az inerciarendszerben!

A szabadon eső rendszer **lokális inerciarendszer**

Mentsük meg a pilótákat
a becsapódástól!



Ferdén induló szabadesés:

tartós keringés a bolygó körül:

„örökös szabadesés”

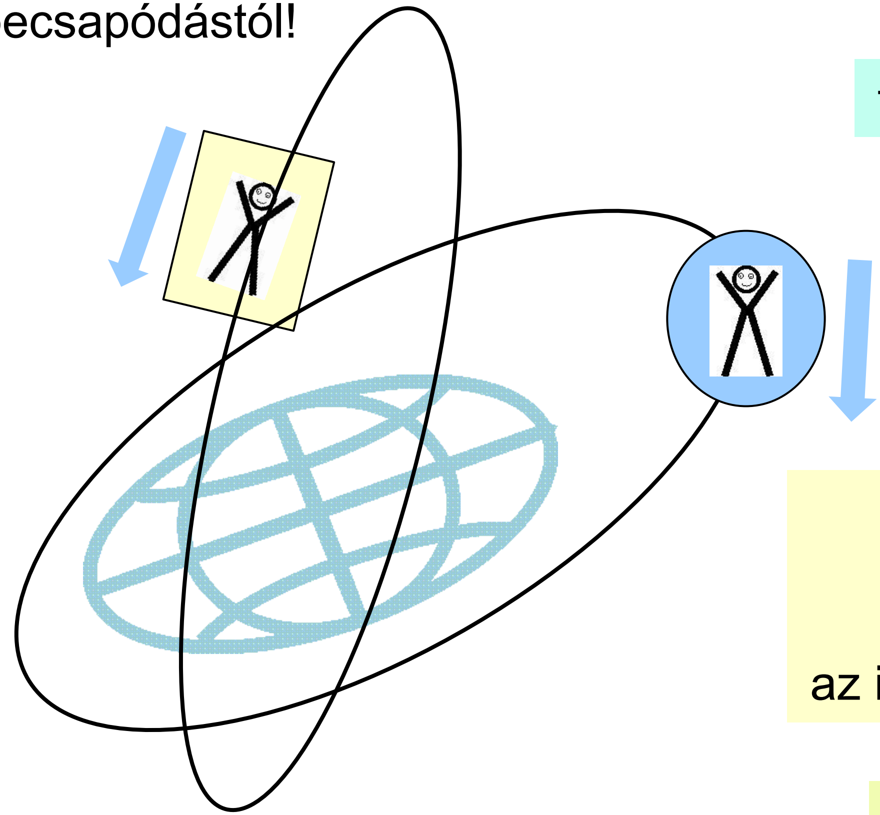
A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

de egy fizikus pilótának
laboratórium is kellene…!

A szabadon eső rendszerben
a mozgásegyenlet:

$$\boxed{m\,a = 0}$$

Mentsük meg a pilótákat
a becsapódástól!



Ferdén induló szabadesés:

tartós keringés a bolygó körül:

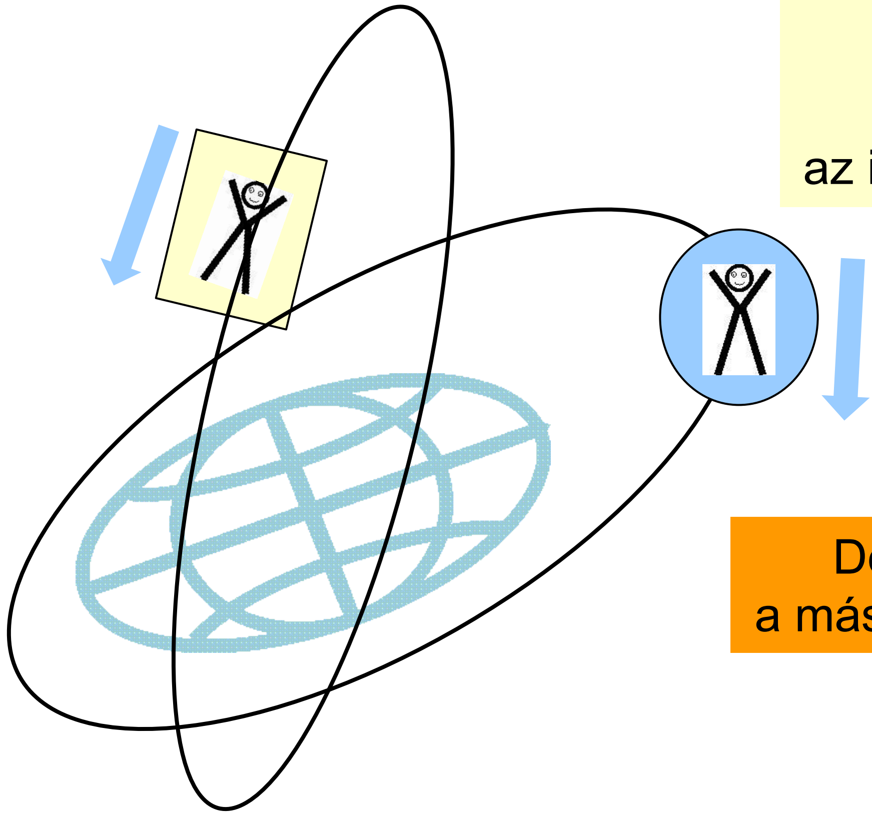
„örökös szabadesés”

A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

A keringő űrlaboratóriumon
belüli kísérletek
nem különböztethetők meg
az inerciarendszerbeli kísérletektől

A szabadon eső rendszerben
a mozgásegyenlet:

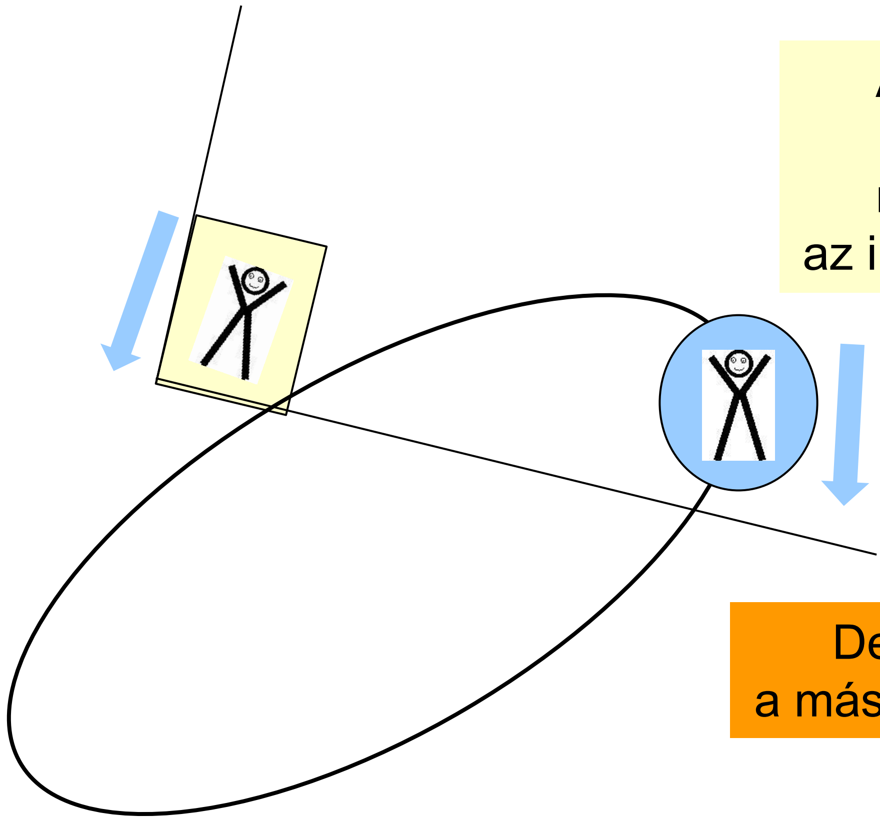
$$\boxed{m\,a = 0}$$



A keringő űrlaboratóriumon
belüli kísérletek
nem különböztethetők meg
az inerciarendszerbeli kísérletektől

A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

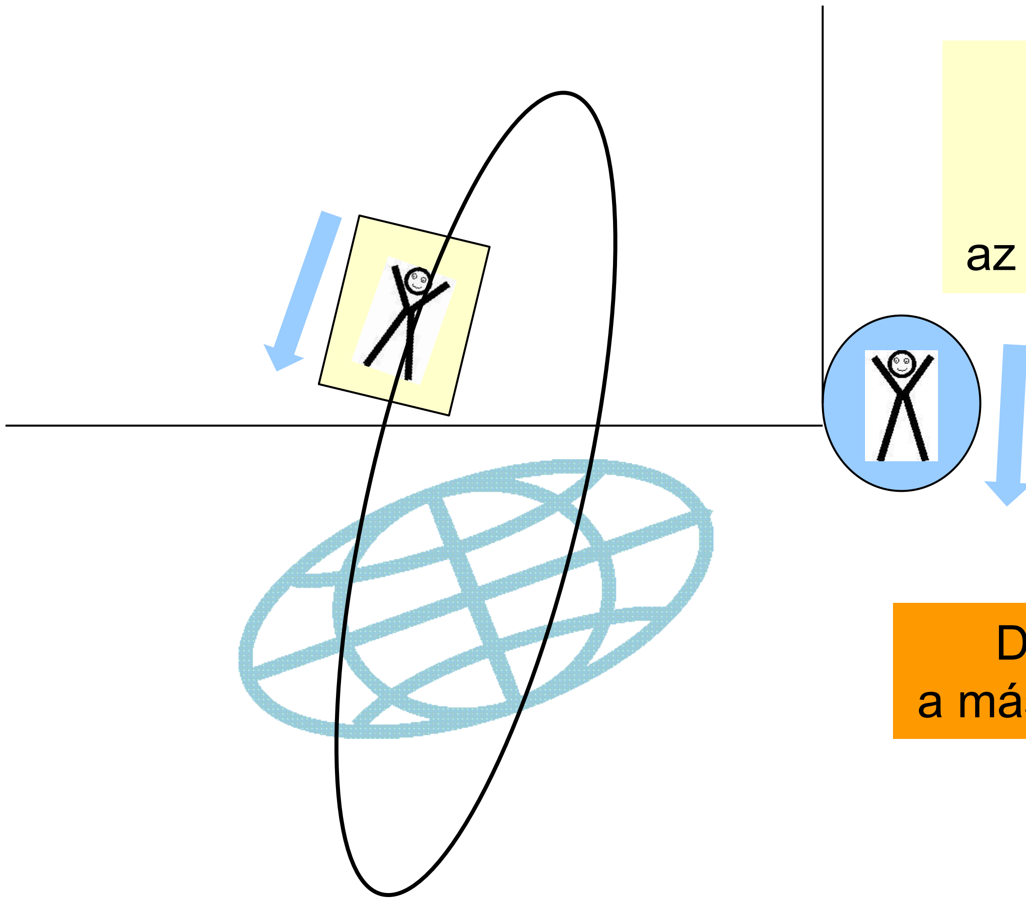
De az egyik űrhajóhoz képest
a másik GYORSULÓ mozgást végez!



A keringő űrlaboratóriumon
belüli kísérletek
nem különböztethetők meg
az inerciarendszerbeli kísérletektől

A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

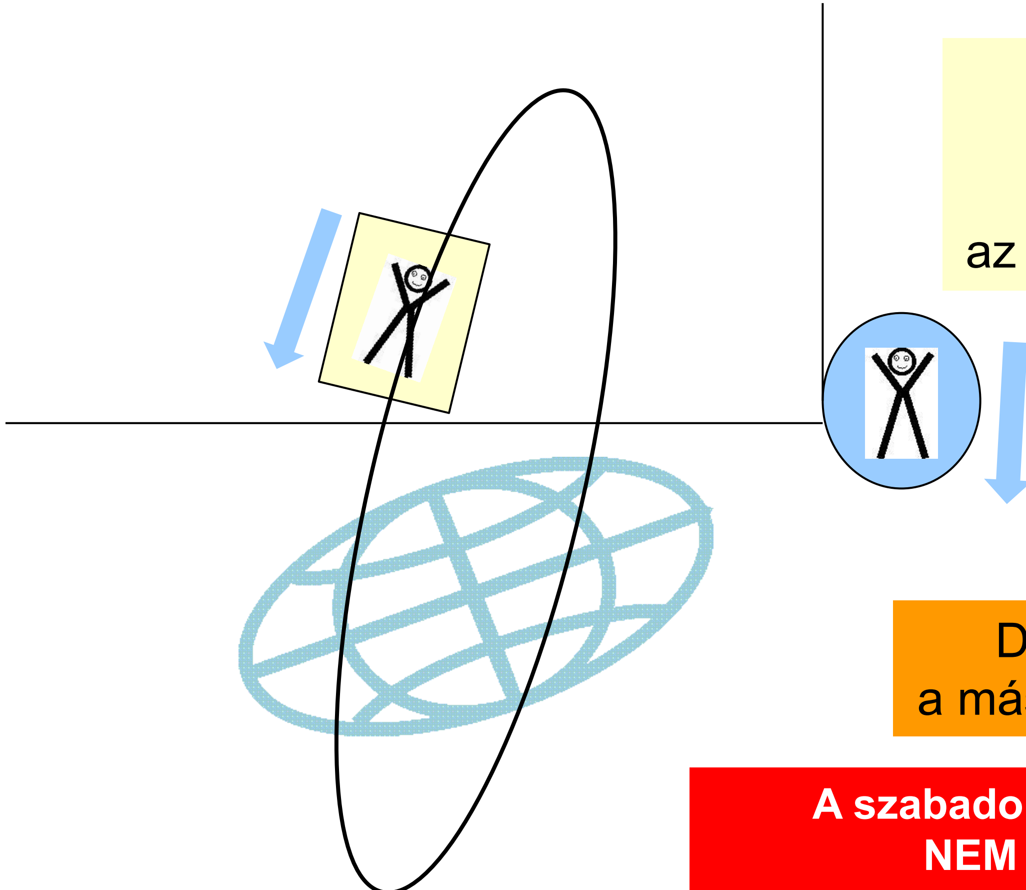
De az egyik űrhajóhoz képest
a másik GYORSULÓ mozgást végez!



A keringő űrlaboratóriumon
belüli kísérletek
nem különböztethetők meg
az inerciarendszerbeli kísérletektől

A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

De az egyik űrhajóhoz képest
a másik GYORSULÓ mozgást végez!



A keringő űrlaboratóriumon
belüli kísérletek
nem különböztethetők meg
az inerciarendszerbeli kísérletektől

A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

De az egyik űrhajóhoz képest
a másik GYORSULÓ mozgást végez!

A szabadon eső helyi inerciarendszerek
NEM ILLESZTHETŐK ÖSSZE
egy globális, koherens inerciarendszerré

A lokális koordinátatengelyek
nem hosszabbíthatók meg korlátlan távolságra!

NEM LÉTEZIK
globális inerciarendszer!

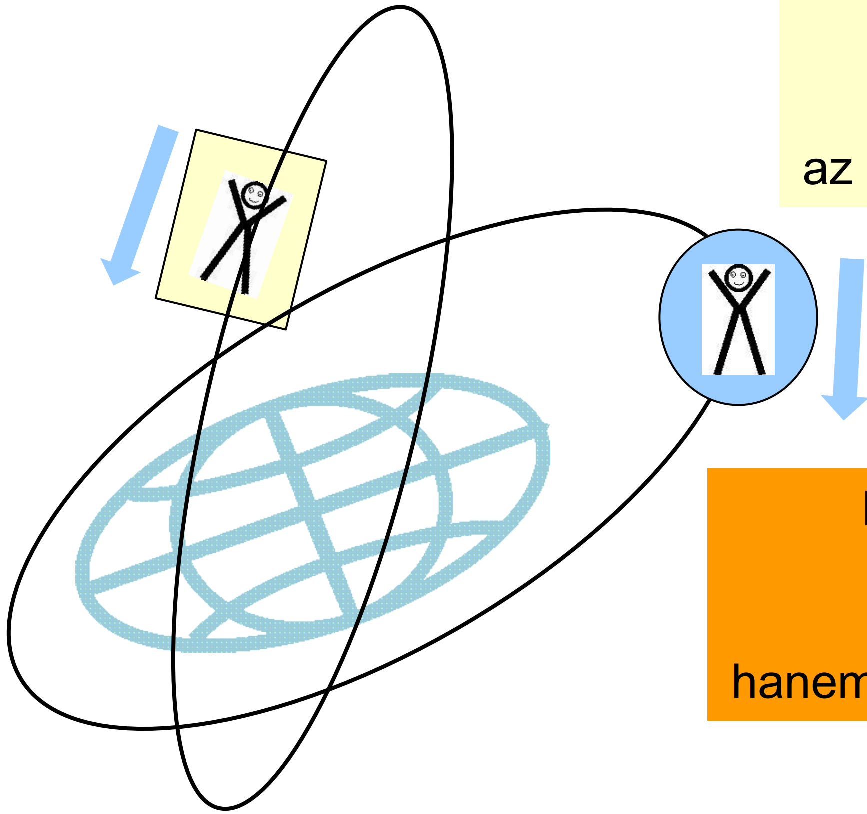
Ezt az állítást (és ennek matematikai következményeit) hívjuk
általános relativitáselméletnek

egy hasznos analógia:

A Föld felületének bármely kis részéről lehet készíteni elegendően pontos síktérképet.

De a sok lokális síktérkép nem ragasztható össze egy pontos globális síktérképpé..

Mert a Föld felülete NEM SÍK, hanem GÖRBÜLT!..



A keringő űrlaboratóriumon
belüli kísérletek
nem különböztethetők meg
az inerciarendszerbeli kísérletektől

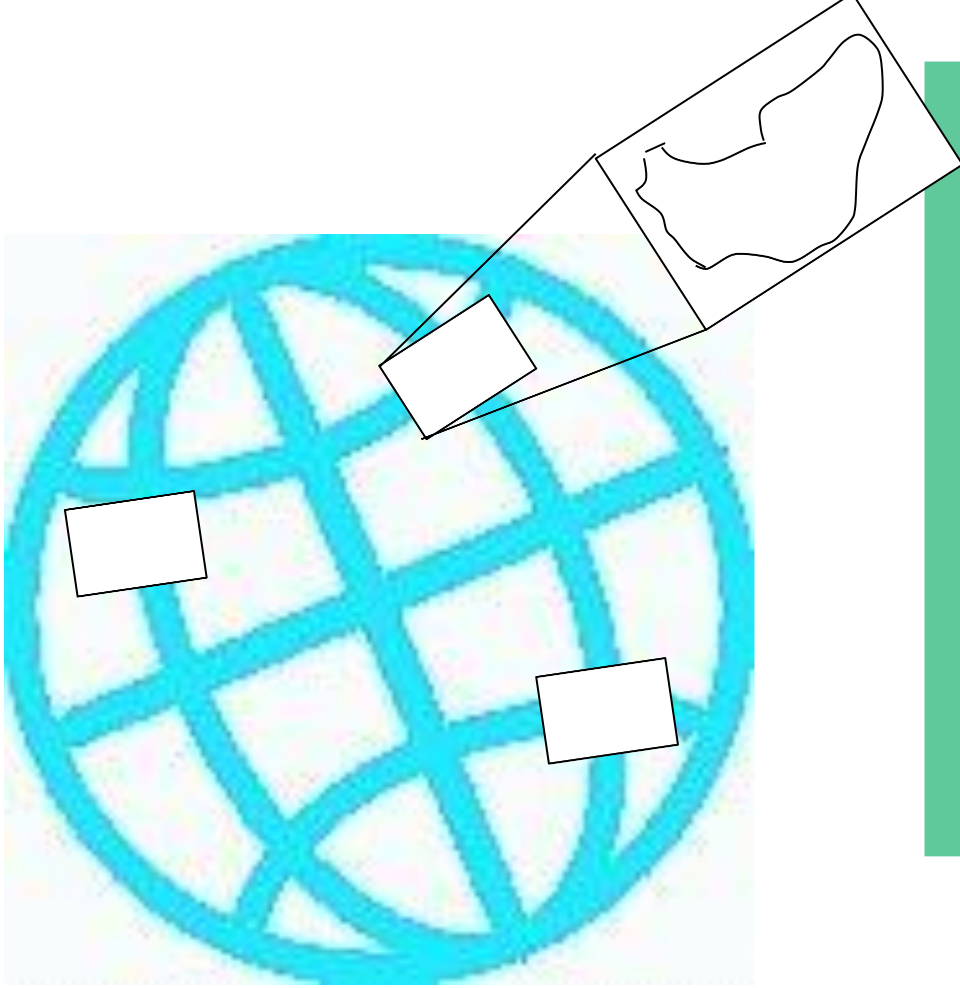
A szabadon eső rendszer
lokális inerciarendszer

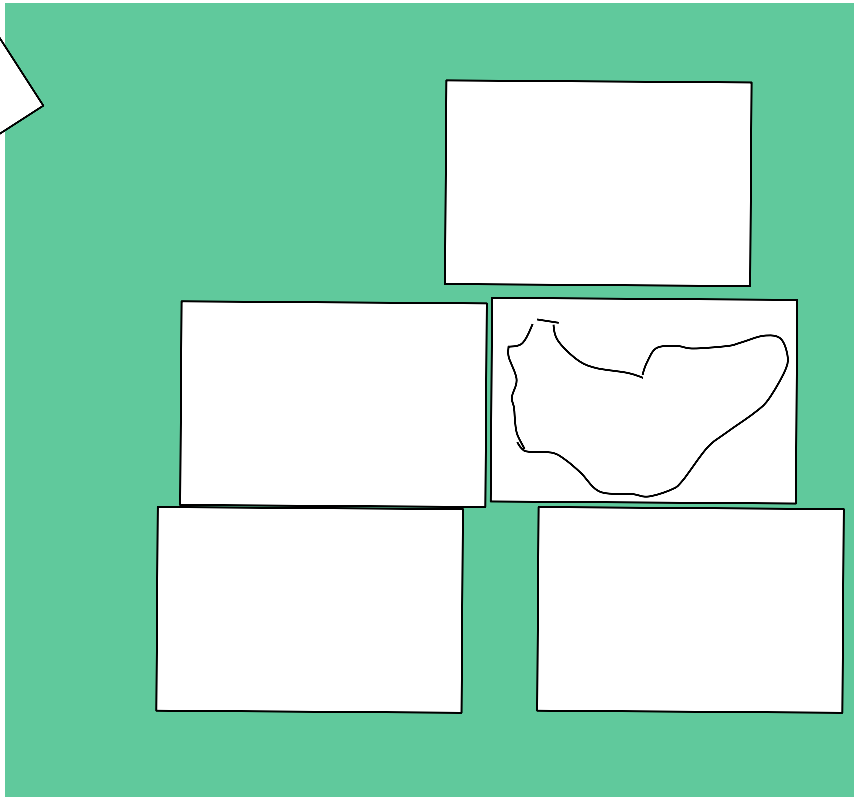
E lokális inerciarendszerek
egymáshoz képest
nem állandó sebességű,
hanem GYORSULÓ mozgást végeznek

A téridőben bárhol
elengedhetünk
egy szabadon eső űrhajót,
az lokális inerciarendszer
lesz.

**De a sok lokális
inerciarendszer
nem ragasztható össze
egyetlen
globális inerciarendszerré.**

**Mert a téridő
NEM SÍK,
hanem GÖRBÜLT**

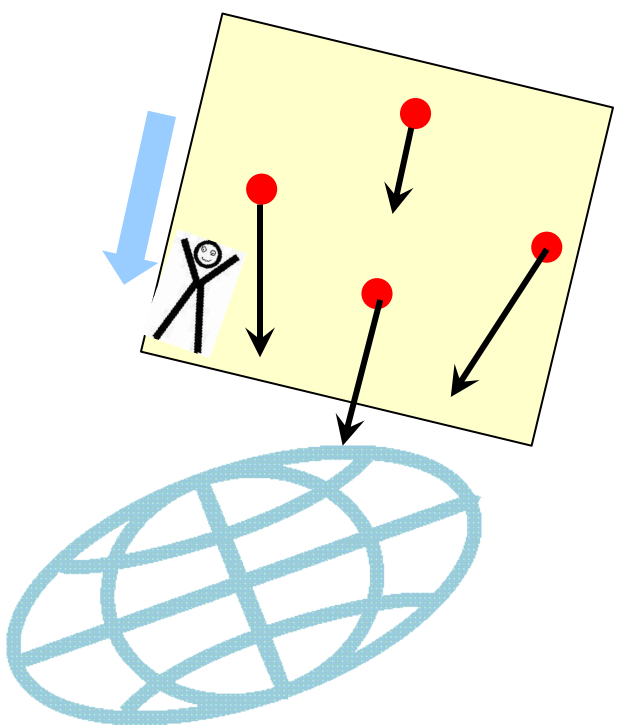


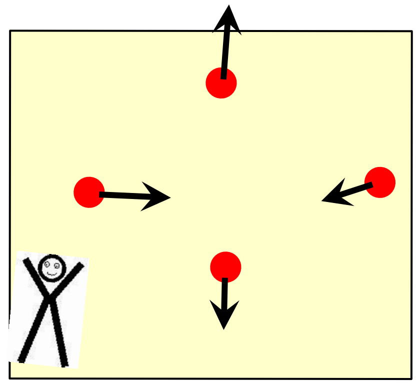


Mekkora lehet, meddig terjedhet egy lokális síktérkép?

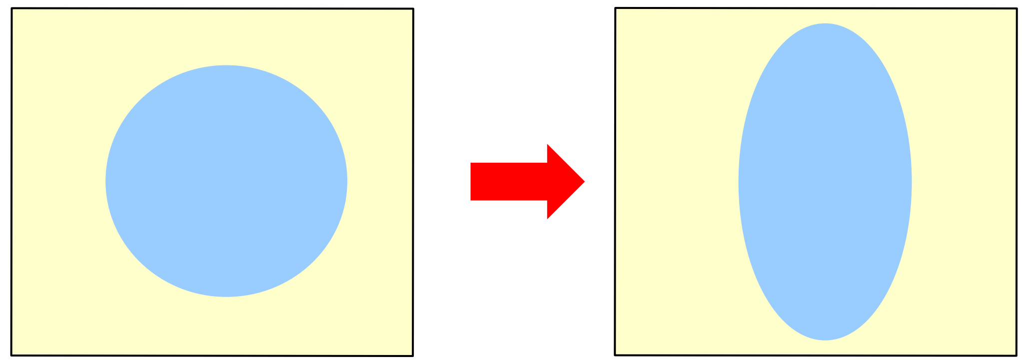
Ameddig a mérhető távolságok nem térnek el észrevehetően és zavaróan a valóságtól.

(Turistatérkép: 5 km távon már észrevehető!)





Túl nagy űrlabor:
ez már nem tekinthető
lokális inerciarendszernek



Mekkora lehet, meddig terjedhet egy lokális inerciarendszer?

Fekete lyukban akár egy méter is sok lehet!

Ameddig a mérhető mozgások nem térnek el észrevehetően és zavaróan az inerciálistól.

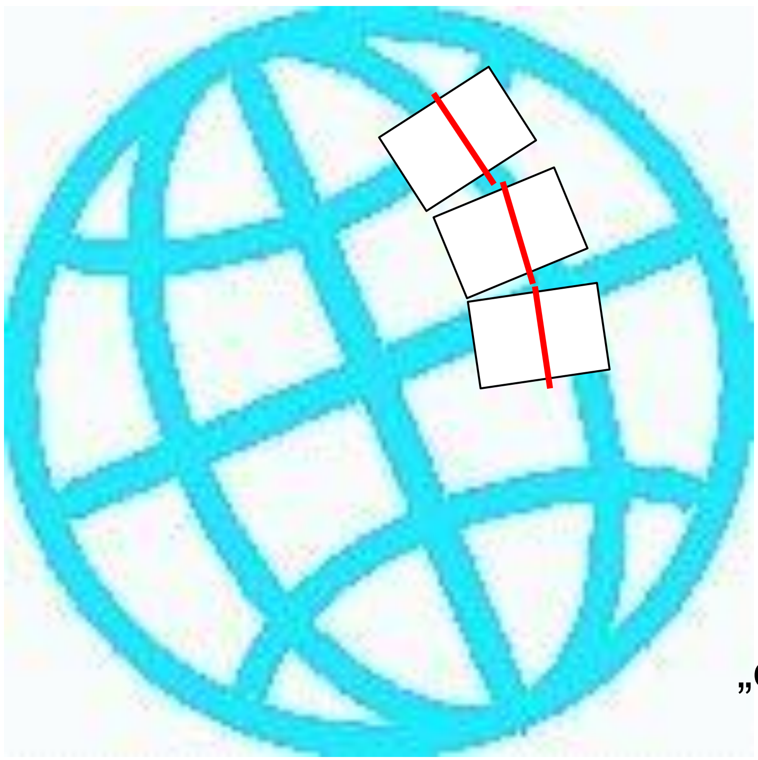
Nem a gravitációt érezzük, hanem a térbeli változását!

Miről lehet észrevenni,
hogy „görbült a tér”?

avagy görbe felületek furcsaságai

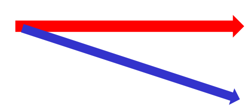
Hogyan mozog
a magára hagyott, „szabad” test?

Minden síktérképen
„inerciálisan”, „egyenesen”
– de a görbe felületen NINCS egyenes!

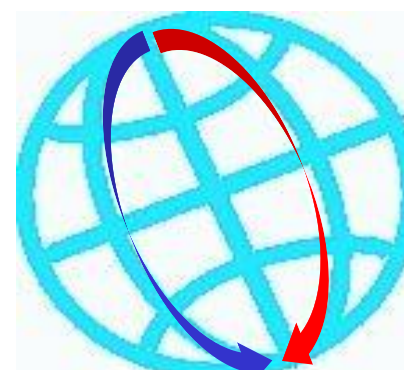


„legegyenesebb” görbe:
geodetikus vonal
(a gömbfelszínen ez főkör)

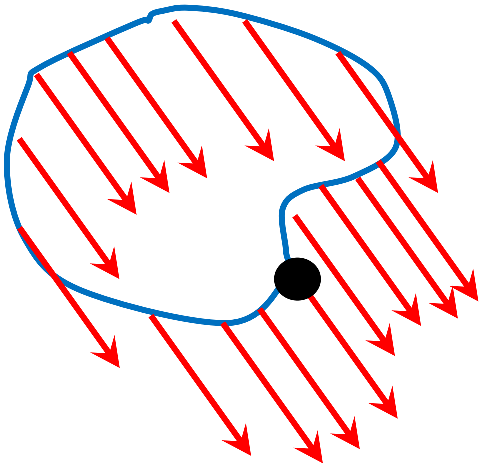
A téridőben a szabadon
eső test pályája geodetikus görbe



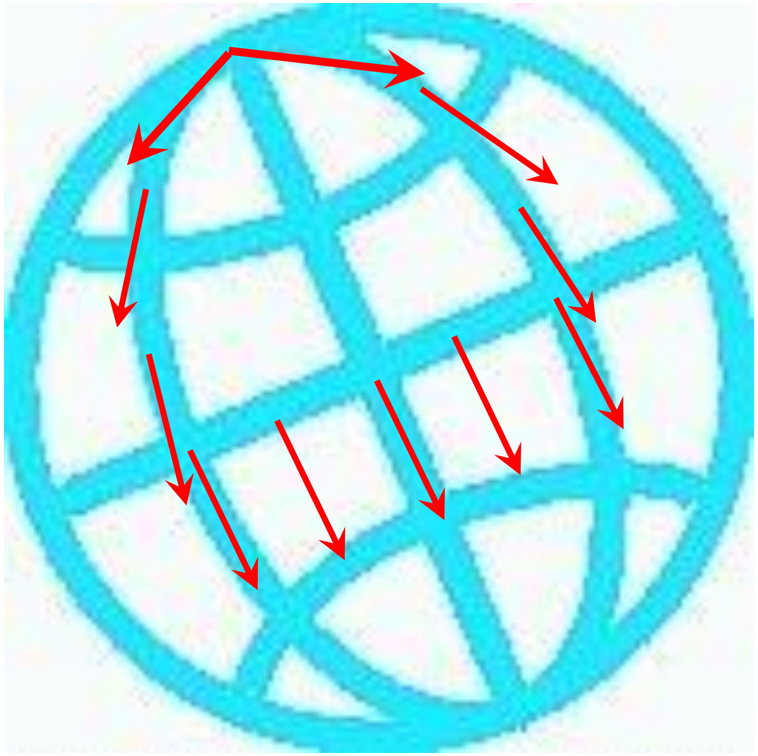
Görbe felületen az
„egyenesek” (geodetikusok)
többször is metszhetik
egymást!



Vektor párhuzamos eltolása
görbe mentén



Síkon a vektor visszatér
az eredeti helyzetbe



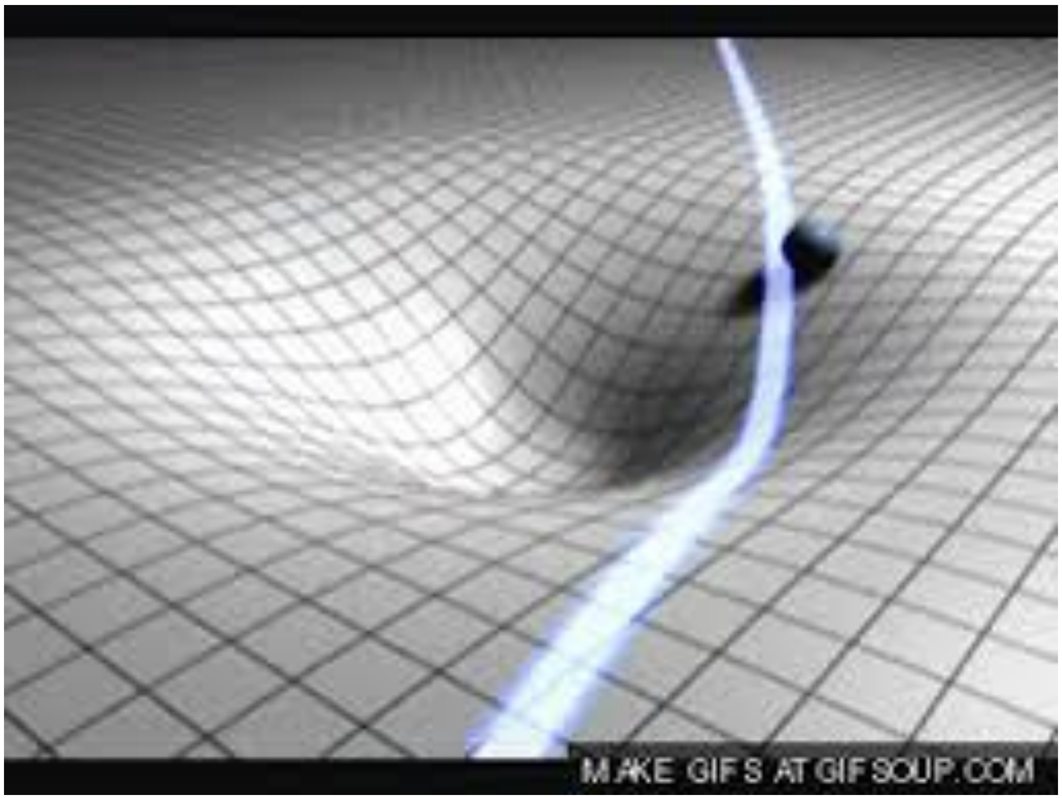
Görbe felületen visszatérve elfordul
az eredeti helyzethez képest

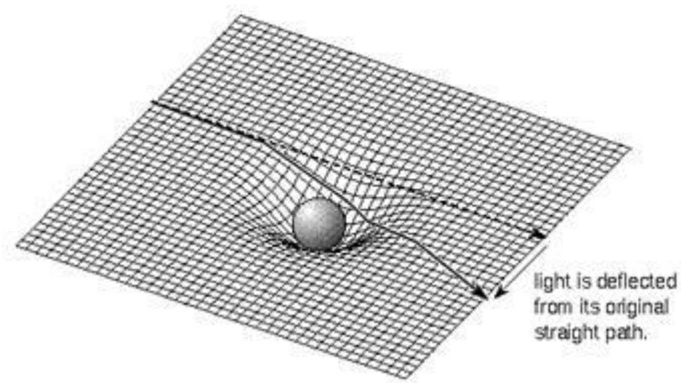
Görbe felületen a (geodetikus) háromszög
szögeinek összege
kisebb és nagyobb is lehet 180 foknál.

A téridőben a szabadon
eső test pályája geodetikus görbe

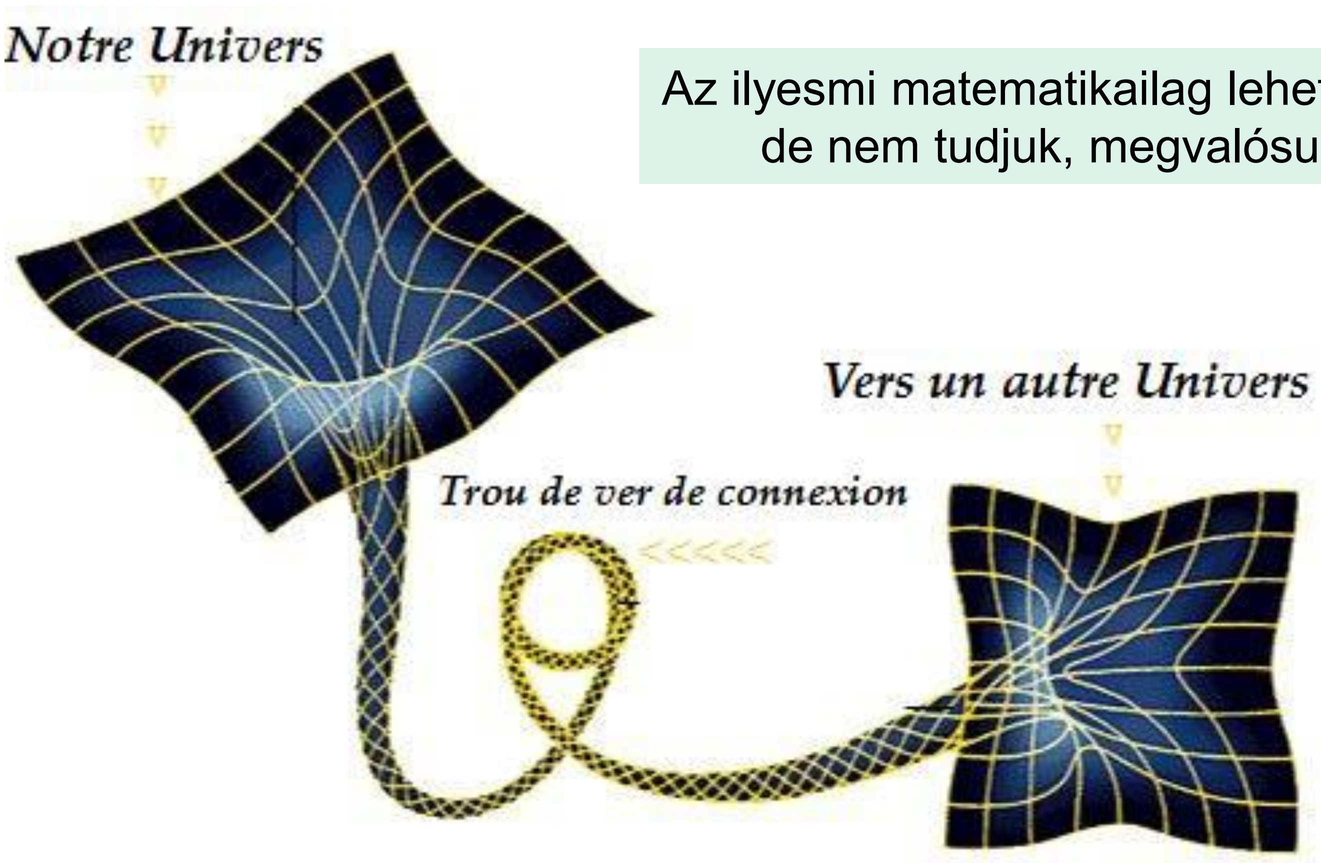
Newton szerint gravitáció hat –
Einstein szerint lokális
inerciarendszerekben mozog
erőhatás nélkül

De ha nincs „gravitációs erő”, akkor miért keringenek a bolygók a Nap körül?

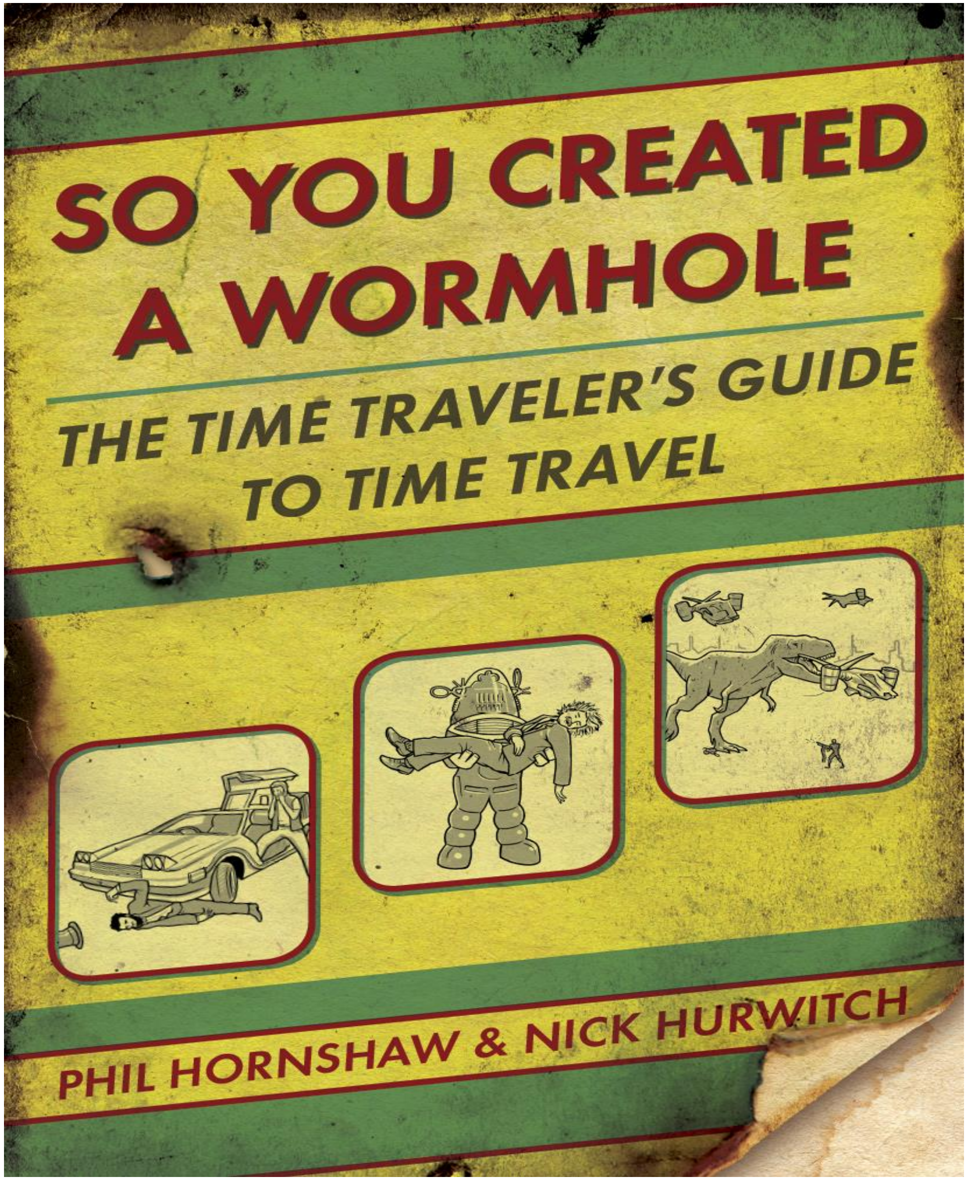




Nagyon durván görbült téridő,
avagy féregjárat két Univerzum között



Az ilyesmi matematikailag lehetséges,
de nem tudjuk, megvalósul-e


SO YOU CREATED A WORMHOLE
THE TIME TRAVELER'S GUIDE TO TIME TRAVEL
PHIL HORNSHAW & NICK HURWITCH

Mit jelent a „**görbült téridő**”?

Az anyag lehetséges szabad mozgásainak az euklideszi geometriában megszokottnál bonyolultabb módjait

No de mi görbíti a téridőt?

Maga az anyag!
Pontosabban:
Az anyag energiasűrűsége, impulzussűrűsége, nyomása és feszültsége

Newtonnál a gravitáció forrása CSAK a tömeg sűrűsége!

$$\text{ANYAG} \xrightarrow{\text{görbít}} \text{TÉRIDŐ}$$

$$\text{TÉRIDŐ} \xrightarrow{\text{mozgat}} \text{ANYAG}$$

Köszönöm a figyelmet!

Geometria és gravitáció

Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula 2014. 09. 18.